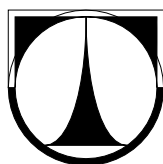


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Tetervák Pavlo

Liberec 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: N2612-Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3902T005- Automatické řízení a inženýrská
informatika

**Návrh experimentálního měřicího a monitorovacího systému pro
proces rovinného broušení kovů**

**Design of experimental measuring and monitoring system for the
process of surface grinding in metals**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Tetervák Pavlo

Vedoucí práce: Doc. Ing. Miroslav Svoboda

Konzultant: Ing. Jaroslav Votoček

Zadání

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Miroslavu Svobodě za rady a pomoc při řešení této práce, dále konzultantovi Ing. Jaroslavu Votočkovi za pomoc při provádění experimentů a Doc. Ing. J. Gazdovi Csc. za cenné informace týkající se měření.

Abstrakt

Cílem diplomové práce je vytvoření vhodného komplexního experimentálního monitorovacího systému pro rovinné broušení kovů, které by umožňovalo získávat a vyhodnotit výsledky procesu broušení a použít je pro další výzkum.

Pro účely vytvoření systému bylo použito programovací prostředí LabView. Během zpracování diplomové práce vznikla řada algoritmů na vytvoření programů. Pro měření byly použity různé druhy materiálů a byly nastaveny různé podmínky při procesu broušení. Byly testovány různé algoritmy, proveden výběr vhodných snímačů a měřicího zařízení a na tomto základě navržen a ověřen monitorovací systém. Jednotlivá měření jsou popsány od uspořádání měřicího systému po dosažené výsledky a jejich ukládání pro další zpracování. Předpokládá se, že vytvořený experimentální monitorovací systém najde využití i při řešení dalších úkolů.

Měření pomocí navrženého monitorovacího systému byla provedena na rovinné brusce na Katedře obrábění a montáže strojní fakulty.

Klíčová slova: monitorovací systém, rovinné broušení, vývojové prostředí LabView, testování algoritmů, měření.

Abstract

The purpose of this master's degree thesis is an appropriate comprehensive experimental design of a monitoring system for planar grinding of metal surfaces, which would allow obtaining and evaluating the results of the grinding process and using it for further research.

For the purpose of system development was used the LabView programming suite. During processing of the work was created a few algorithms. For measurements in the grinding process were used different types of materials and conditions. Various algorithms were tested and leading to the selection of suitable sensors with measuring equipment. Based on the results was created and tested monitoring system. Individual measurements were described in the arrangement of the measuring system and saved for further processing. It is expected, that created experimental monitoring system is capable to use also with other connected research.

Measurements were made on planar grinder by using the designed monitoring system at the Faculty of Mechanical Engineering in the Department of Machining and Assembly.

Keywords: monitoring system, planar grinding, development software 'LabView', testing algorithms, measurements.

Obsah

Seznam obrázků a tabulek	10
Seznam zkratk	12
Úvod	13
1. Studium a analýza dosavadních poznatků o procesu broušení...	14
1.1 Broušení jako metoda obrábění	14
1.2 Popis stroje a jeho pracovní možnosti	14
1.3 Veličiny a parametry procesu broušení.....	16
2. Návrh projektu vhodného komplexního experimentálního monitorovacího systému pro rovinné broušení kovů	17
2.1 Měření akustické emise	17
2.2 Přímé měření rychlosti posuvného pohybu.....	21
2.3 Dynamometr firmy Kistler jako nástroj pro měření sil.....	22
2.4 Měření úbytku obrobku pomocí indukčního snímače BALLUFF UAD25F-BP03.....	24
2.5 Programovací prostředí LabView	25
3. Vytvoření měřicího programu a provedení testovacích měření	26
3.1 Zapojení měřicího zařízení	26
3.2 Kalibrace měřicích přístrojů.....	28
3.3 Měření radiálních a posuvových sil, otáček kotouče, rychlosti stolu, úbytku obrobku a uložení dat do souboru.....	30
3.4 Vyhodnocení výsledků měření a ukládání dat.....	31
3.5 Měření akustické emise a zpracování naměřených údajů.....	37
3.6 Zpracování výsledků měření	40
4. Závěr	45

Seznam použité literatury	47
Příloha A - Výsledky obrábění ocelí 12050	48
Příloha B - Výsledky obrábění ocelí 14109	53
Příloha C - Výsledky obrábění ocelí 15260	59
Příloha D: CD	70

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1: Vyrovnací přístroj Schmitt Model SB-4500.....	15
Obr. 2: Princip vyvažování kotouče.....	16
Obr. 3: Proces broušení	16
Obr. 4: Schéma rozdělení měřicích veličin mezi počítači.....	17
Obr. 5: Příklad průběhu akustické emise	18
Obr. 6: Projev trhliny na průběhu AE.....	19
Obr. 7: Schéma měření akustické emise	20
Obr. 8: Elektrodynamický senzor rychlosti kmitů.....	21
Obr. 9: Zobrazení dynamometru firmy Kistler	22
Obr. 10: Blokové schéma vyhodnocovacího přístroje Kistler Type 5019.....	23
Obr. 11: Princip fungování indukčního snímače BALLUFF 15B-BP03.....	24
Obr. 12: Blokové schéma sériového zapojení měřicího zařízení.....	26
Obr. 13: Schéma svorkovnice měřicí karty NI CB-68LP.....	26
Obr. 14: Schéma zapojení svorkovnice měřicí karty NI CB-68LP.....	27
Obr. 15: Vzhled kalibračního programu.....	28
Obr. 16: Princip výpočtu kalibrace.....	28
Obr. 17: Kalibrační program.....	29
Obr. 18: Program měření a ukládání dat pro proces broušení.....	30
Obr. 19: Program pro vyhodnocení výsledků a ukládání dat.....	31
Obr. 20: Průběh měřicího signálu.....	32
Obr. 21: Tvar složeného pole.....	32
Obr. 22: Princip detekování obrobku s pomocí senzoru AE.....	32
Obr. 23: Rozdělení stavu signálu na jednotlivé úseky.....	33
Obr. 24: Dvourozměrné pole na výstupu.....	33
Obr. 25: Princip vytváření pole stejné délky.....	33
Obr. 26: Rozdělení pole na určité úseky se stejnou délkou.....	34
Obr. 27: Část programu pro tárování.....	34
Obr. 28: Část programu pro ukládání dat a jejich zobrazení.....	35
Obr. 29: Program pro výpočet úrovně úbytku obrobku.....	36
Obr. 30: Okno zobrazení výsledků měření akustické emise.....	37
Obr. 31: Program pro měření akustické emise.....	38

Obr. 32: Příklad průběhu signálu na kanálech „0,1,2“.....	38
Obr.33: Okno pro vyhodnocení výsledků akustické emise.....	39
Obr.34: Struktura programu pro vyhodnocení akustické emise.....	40
Obr.35.1 Radiální síla F_z (ocel 12050).....	41
Obr.35.2 Posunovací síla F_y (ocel 12050).....	41
Obr.35.3 Otáčky kotouče (ocel 12050)	41
Obr.35.4 Rychlost posuvu stolu (ocel 12050).....	41
Obr.35.5 Úbytek obrobku (ocel 12050)	41
Obr.35.6 Tabulka dat (ocel 12050).....	41
Obr.35.7 Zobrazení akustické emise (ocel 12050)	42
Obr.35.8 AE nesousledného pohybu (ocel 12050).....	42
Obr.35.9 AE sousledného pohybu (ocel 12050)	42
Obr.36.1 Radiální síla F_z (ocel 15250).....	42
Obr.36.2 Posunovací síla F_y (ocel 15250).....	42
Obr.36.3 Otáčky kotouče (ocel 15250)	43
Obr.36.4 Rychlost posuvu stolu (ocel 15250).....	43
Obr.36.5 Úbytek obrobku (ocel 15250).....	43
Obr.36.6 Tabulka dat(ocel 15250)	43
Obr.36.7 Zobrazení akustické emise (ocel 15250)	43
.Obr.36.8 AE nesousledného pohybu (ocel 15250).....	44
Obr.36.9 AE sousledného pohybu (ocel 15250)	44
Tabulka 1: Specifikace dynamometru Kistler	22

Seznam zkratek a symbolů

a_p [μm]	úbytek obrobku
F_z [N]	radiální síla
f_a [mm]	posuv stolu
F_y [N]	posunovací síla
t [s]	čas
s [m ; mm]	dráha
v_c [m/s]	řezná rychlost
v_s [mm/s]	rychlost posuvu stolu
δ	náhodná chyba
n	počet měření
X [mm]	délka úseku
b [1/mm]	otáčky kotouče
a [μm]	hloubka zaberu obrobku
U [V]	výstupní napětí
AE [kHz]	frekvenční rozsah akustická emise
X, Y, Z	osy souřadného systému

Úvod

Předmětem mé diplomové práce je návrh vhodného komplexního experimentálního monitorovacího systému pro rovinné broušení kovů. Jedním z úkolů bylo studium a analýza dosavadních poznatků o procesu broušení se zaměřením na veličiny a parametry procesu broušení a na moderní metody měření těchto veličin. Dalším cílem bylo na základě předchozí analýzy a formulace problému zadaného úkolu navrhnout vhodný komplexní experimentální monitorovací systém pro proces rovinného broušení, vytvořit vhodný program umožňující v jednom časovém okamžiku monitorovat všechny měřené veličiny. K tomuto účelu byla vybrána takové zařízení, která vyhovovala podmínkám pro měření všech potřebných parametrů procesu broušení. Pro měření a zpracování dat bylo vybráno vývojové prostředí LabView od firmy National Instruments. Programování v tomto prostředí umožňuje vytvářet klientské aplikace s využitím řady hardwarových prostředků. Vytvořené programy slouží pro získávání, zpracování a ukládání dat. Problematice vytvoření programu je věnovaná velká část diplomové práce. Úvodem je třeba říci, co je pod programováním zamýšleno. Mým úkolem bylo nalézt způsob, jak proces broušení snadno monitorovat, tj. provést měření a otestovat různé podmínky broušení, sledovat vlastnosti použitých materiálů, jejich chování při změně podmínek a sledovat vliv na proces broušení. Provedením řady měření jsem dokázal, že navržený experimentální monitorovací systém je funkční a spolehlivý, a lze ho používat i pro dalších účely. Ve výsledku by ho měla využívat Katedra obrábění a montáže při řešení svých úkolů.

1. Studium a analýza dosavadních poznatků o procesu broušení

1.1. Broušení jako metoda obrábění

Rotující brousicí kotouč (hlavní pohyb) odebírá materiál obvodem, čelem kotouče, nebo oběma plochami současně. Způsob úběru při broušení (posuv a přísuv) může být zapichovací, podélný, (průběžný), oscilační, radiální, tangenciální, planetový, integrovaný (složený).

Trvanlivost kotouče, výkon (úběr) a kvalitu broušeného povrchu podstatně ovlivňuje použití řezných kapalin. Jejich požadovaný účinek je především chladicí a častíci (vysoké teploty v místě styku – teplotní roztažnost – rozměrová přesnost + strukturní změny, zbytkové pnutí, nebezpečí vznícení třísek u Ti a Mg slitin, ohřáté třísky zalepují póry nástroje).

Pohyby u brusek jsou vyvozovány mechanicky (pro seřízení), ale většinou jsou posuvy stolů a brousících vřeteníků v pracovních cyklech realizovány hydraulicky (plynulost pohybů, tlumení rázů v úvratích při změně smyslu pohybu).

Řezné podmínky se volí především s ohledem na výkon nástroje, obráběný materiál, požadovanou kvalitu a způsob broušení.

2.1. Popis stroje a jeho pracovní možnosti

Bruska rovinná vodorovná BPH 320A je určena pro přesné broušení rovinných ploch. Stroj je určen pro sériovou výrobu. Koncepce stroje odpovídá koncepci běžných rovinných brusek s příčně-posuvným stolem. Základ stroje tvoří lože skříňového tvaru, které je pevně spojeno se stojanem. Na loži a stojanu jsou připevněny ostatní díly a části stroje.

Na loži jsou připevněny lištky kluzného vedení, na kterých se posouvají příčné saně. Posuv saní je proveden šroubem a maticí. Velikost příčného posuvu je plynule měnitelná.

V podélném kluzném vedení příčných saní se posouvá stůl, jehož podélný posuv je hydraulický a plynule měnitelný. Horní plocha stolu je vybavena magnetickou upínací deskou.

Brousicí vřeteník je posuvný po vedení stojanu. Posuv brousicího vřeteníku je tvořen šroubem s maticí a šnekovým převodem s vymezením vůle. Rychlý posuv vřeteníku je proveden elektromotorem s šnekovým převodem.

Brousicí vřeteno je uloženo ve dvou párech kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem. Toto uložení umožňuje využití maximálního výkonu elektromotoru pohonu brousicího vřetena. Použitá ložiska jsou vhodná i pro přenos velkých axiálních zatížení. Proto uložení brousicího vřetena zaručuje také kvalitní výbrus i při broušení čelem brousicího kotouče. Chod s nižšími otáčkami elektromotoru olejového čerpadla hydrauliky je určen pro normální režim. Vyšší otáčky se přepínají automaticky při určité poloze řídicího ventilu podélné rychlosti stolu.

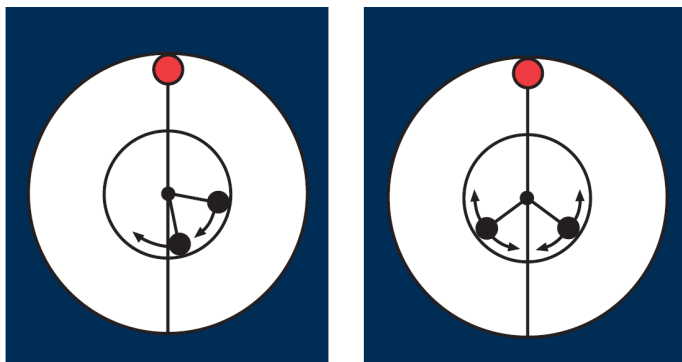
Stroj je v normálním provedení vybaven setinovým přístavováním brousicího vřeteníku. Toto zařízení umožňuje přistavit brousicí kotouč do řezu o předem nastavenou hodnotu v rozmezí 0,005 až 0,03 mm. Zařízení je sestaveno z rohatky pevně spojené s hřídelí přístavovacího mechanismu a západky, která je přestavovaná ruční páčkou. Přestavení západky a tím i změna hodnoty přistavení je snadno a rychle seřiditelná pomocí přestavitelného dorazu. Po přistavení brousicího vřeteníku o požadovanou hodnotu do řezu se ruční páčka opět vrátí do výchozí polohy a přistavení lze opět opakovat. [7]

Obráběcí stroj je vybaven vyrovnacím přístrojem Schmidt SB-4500 co maximalizuje účinnost stroje, zvětšuje přesnost broušení a jeho kvalitu. Pro názornost byl přiložen obr. 1.



Obr. 1: Vyrovnací přístroj Schmitt Model SB-4500

Systém dynamické rovnováhy funguje na principu masové náhrady pro kola nerovnováhy. Rovnovážná hlava obsahuje dvě pohyblivé výstřední váhy, každá váha poháněna elektromotorem. Tyto váhy je možné přemístit a vyrovnat jakékoli nerovnováhy v brusném kotouči. Nerovnováha nebo vibrace jsou zachyceny senzorem. Signál je přiváděn do regulátoru který filtruje signál RPM. Regulátor pohání dvě vyrovnací hlavy, závaží ve směru, který snižuje amplitudu kmitání signálu. Princip činnosti je znázorněn na obr. 2. Kdy závaží jsou umístěny tak, aby vznikala nejnížší úroveň vibrací pak je dosaženo rovnováhy a cyklus je kompletní.

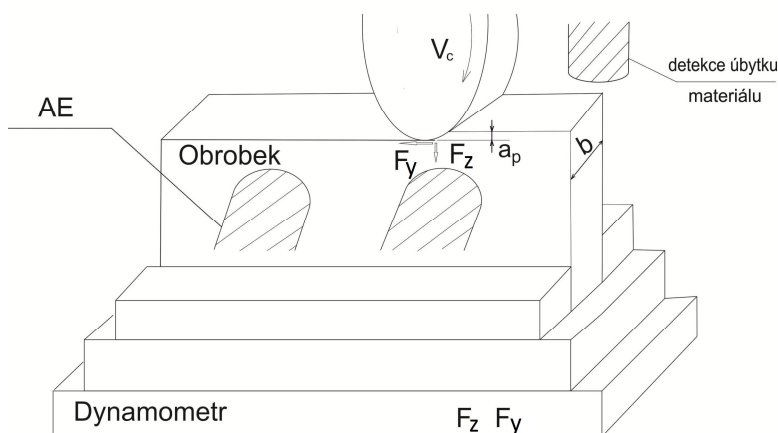


Obr. 2: Princip vyvažování kotouče

S elektro-luminiscenčním displejem SB-4500 Model Balancer dává větší kontrolu a informace o procesu. Rychle nastavení displeje dává možnost držet proces zcela pod kontrolou. Systém je elegantně jednoduchý, ovládání počítače, čidlo, vřeteno, montážní adaptér a vyvážení hlavy.

Je navržen jako levná model, s možností rychle instalaci na brusky. Plný automatický provoz znamená, že již není nutné předběžné bilancovat brusný kotouč a eliminuje potřebu nevhodného vybavení.

1.3 Veličiny a parametry procesu broušení

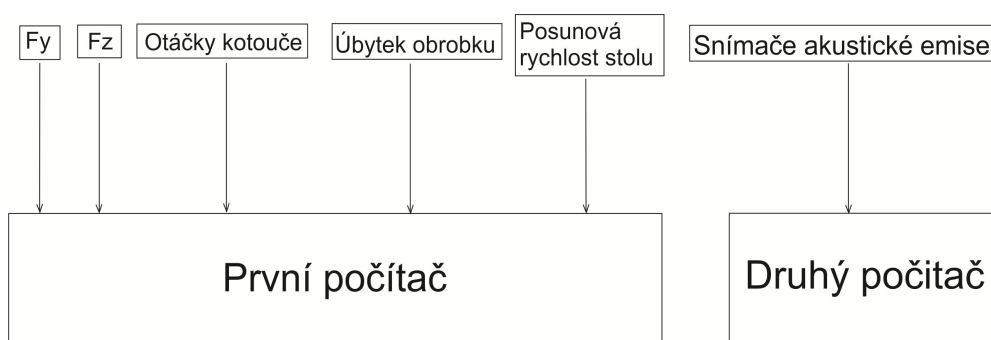


Obr. 3: Proces broušení

Pro měření, které by plně popisovalo proces broušení, jsem vybral následující parametry. (Viz obr. 3):

- 1) řezná rychlost (jinak řečeno – otáčky kotouče)
- 2) hloubka záběru obrobku
- 3) posuvna rychlost stolu
- 4) akustická emise
- 5) velikost sil F_z a F_y
- 6) úbytek obrobku

Protože víme, že na řezné rychlosti záleží zkreslení akustické emise, úbytek obrobku a velikost sil F_z a F_y . Tak mně napadlo použít změnu rychlosti kotouče jako velmi zajímavý a podstatný faktor v precesi experimentálního broušení. Kromě toho obráběcí stroj BPH 320A byl modernizován o frekvenční měnič, který umožňoval v reálném čase měnit rychlost otáček kotouče. Posuv rychlosti stolu jsem měřil pomocí zapojením indukčnostního snímače rychlosti. Posunová rychlost stolu je velmi důležitým parametrem v obrábění. Záleží na ní rychlost provedení procesu, velikost sil F_z a F_y a úbytek obrobku.



Obr. 4: Schéma rozdělení měřících veličin mezi počítači

Co se týče akustické emise, je důležité ji pozorovat pro zabezpečení bezpečnosti procesu broušení, přítomnosti obrobku v svěráku, odhalení defektů. Zároveň s podmínkami pro jejich rozvoj, pozorovat vznik a šíření mikrotrhlin. Velikost radiálních a posuvových sil má vliv na vznik těch samých mikrotrhlin, zničení kotouče a rychlosti záběru obrobku při projezdě. Kromě toho můžeme pozorovat, jak velký projezd je potřeba pro dosažení požadované veličiny záběru. Schéma rozdělení měřících veličin mezi počítači je zobrazena na obr.4

2. Návrh projektu vhodného komplexního experimentálního monitorovacího systému pro rovinné broušení kovů

2.1 Způsoby měření akustické emise

Akustická emise (AE) je fyzikální jev, kdy v určitých lokalitách materiálu dochází v důsledku procesů stimulovaných vnějšími nebo vnitřními silami k uvolňování části materiálem akumulované energie. Tato uvolněná energie se transformuje na napěťový impuls, který se po dosažení povrchu materiálu šíří ve formě napěťových elastických vln,

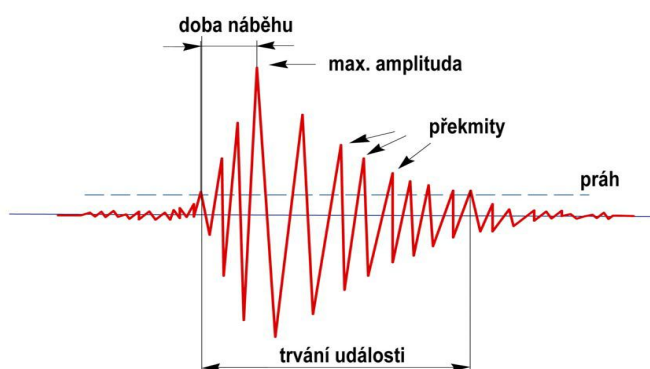
které mohou být detekovány snímači akustické emise:

- Emisní událost
- Emisní zdroj
- Emisní signál [11]

Signál AE má buď charakter spojitého šumu, kdy její amplituda po delší dobu neklesne pod určitou prahovou úroveň nebo je nespojitý a signál má charakter časově oddělených pulsů - hitů. Pro názornost byl přiložen obr. 5. Zdrojem spojité AE jsou mikromechanismy v procesu plastické deformace materiálu, technologické šumy při provozu zařízení, resp. vlnění emitované při úniku média z tlakových systémů. Zdrojem nespojité AE jsou především procesy probíhající při vzniku a rozvoji trhlin a korozní jevy, spojené s impulsním uvolněním akustické energie.

Největší předností metody AE je to, že indikuje pouze ty defekty, které jsou při daném namáhání zařízení aktivní a jsou tedy nestabilní a nejnebezpečnější. Další výhodou oproti běžným diagnostickým metodám je to, že poskytuje globální informaci o stavu kontrolovaného zařízení. Na základě výsledků měření AE totiž lze detailní defektoskopické kontroly přednostně směřovat do míst detekovaných emisních zdrojů. Metoda AE se takto stává užitečným doplňkem běžných metod diagnostiky. [9]

Hodnocené parametry signálu AE



Obr. 5: Příklad průběhu akustické emise

Základní vyhodnocení signálu provádí měřicí systém AE. Podle charakteru signálu rozlišujeme:

a) nespojitá emise

- Signál má charakter jednotlivých, časově výrazně oddělených balíků. Typickým příkladem nespojité AE jsou např. vznik mikrotrhlin, růst trhliny, klepání uvolněných částí.

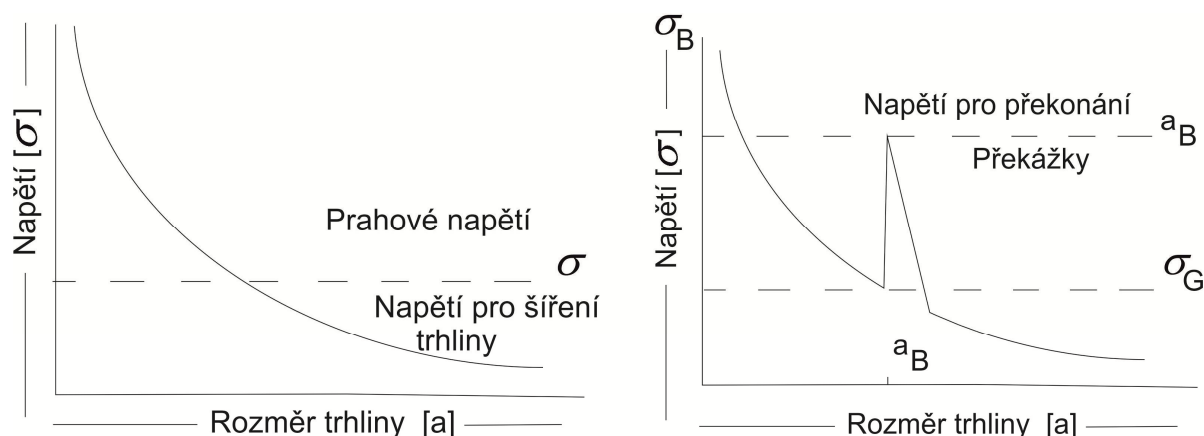
b) spojitá emise, resp. kvazispojitá emise - Signál po delší dobu neklesá pod nastavenou prahovou hodnotu. Typickým příkladem zdroje spojité AE jsou úniky média pod tlakem. Metoda AE pracuje s cílem "odposlechu" varovné aktivity procesů rozvíjejících se v materiálu v důsledku zatěžování konstrukce. Metoda AE detekuje defekty akusticky aktivní. Defekty jsou aktivní díky komplexu příčin, jako vysoké namáhání, oslabená struktura materiálu, korozní napadení apod. Detekujeme tedy nejen přítomnost defektu, ale též přítomnost podmínek pro jeho rozvoj. Metoda AE je integrální. Síť snímačů monitoruje konstrukci nebo její oblast jako celek v reálném čase zatěžování, a to i v provozu. Metoda AE vypovídá o přítomnosti, průběhu a rozvoji akustické emise detekovaných procesů, o přítomnosti defektů zároveň s podmínkami pro jejich rozvoj. [11]

Vznik třísky během procesu obrábění materiálů (i plastických) je doprovázen vznikem mikrotrhlin. Lze tedy očekávat vznik akustické emise doprovázející tvorbu těchto mikrotrhlin. Ke vzniku a šíření mikrotrhlin dochází obecně při napětí, které je podstatně nižší než kohezivní pevnost materiálu. To znamená, že existuje zdroj koncentrace napětí σ v oblasti vzniku trhliny. Z hlediska dislokačního modelu lze vznik mikrotrhlin charakterizovat šířením skupiny dislokací, čímž vzniká spíše nespojitá AE. Šíření trhliny, v důsledku vzniku nové plochy, je provázeno uvolněním podstatně větší energie. Pro růst mikrotrhliny platí podmínka

$$\sigma \rho b \geq 2\gamma$$

kde b je Burgersův vektor, ρ je hustota pohyblivých dislokací a γ je povrchová energie.

Z tohoto je zřejmý význam dislokací (ρ) pro šíření trhliny. Existují dva základní způsoby šíření trhliny. Především jde o nestabilní šíření, kdy napětí potřebné pro pohyb trhliny je menší než napětí potřebné pro její vznik. V případě, že napětí je větší, musí být pro další šíření dodáno vyšší napětí (Obr. 6) přebytečné napětí se uvolňuje a tím dochází k AE.



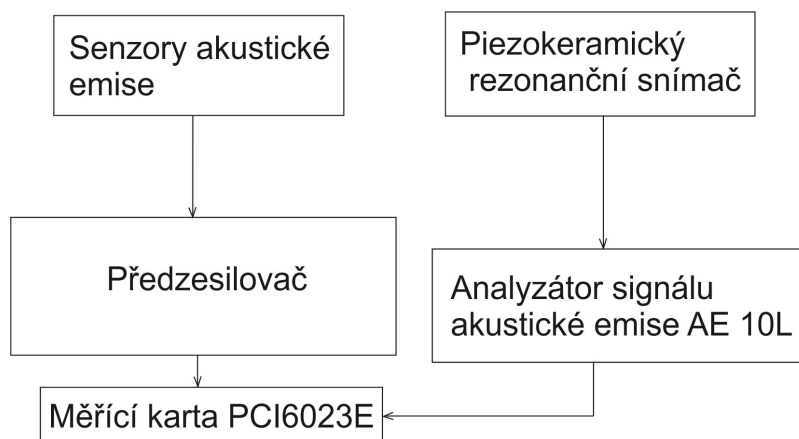
Obr. 6: Projev trhliny na průběhu AE

Rychlost akustické emise N je zřejmě funkcí počtu vznikajících mikrotrhlin a tento zase funkcí aplikovaného napětí. Při vzniku mikrotrhliny se uvolňuje energie akumulovaná v zrně, která je úměrná $\sigma^2/2E$. Pro její hodnotu platí vztah

$$Eg = a^2 \sigma^2$$

kde a je konstanta, závislá na velikosti zrna.

Používaný analyzátor akustické emise AE 10L je stavebnicový systém určený pro snímání, registraci a amplitudovou analýzu signálů akustické emise. Konstrukce zařízení je chráněna čs.patentem č.231236. Analyzátor je ovládán externím počítačem. Signál AE se zpracovává v digitalizované formě a snímá se piezokeramickým rezonančním snímačem stř. frekvence 250 kHz, nebo širokopásmový mono, případně diferenciálním snímačem. Ze snímače signál postupuje na nízkošumový předzesilovač (40 dB) s elektronickým dolním filtrem 30 kHz a frekvenčním rozsahem do 2 MHz. Výstupní jednotka vlastního analyzátoru je programově řízena a je vybavena 3 dolními a 3 horními elektronickými filtry určenými k zúžení sledovaného frekvenčního pásma. K zobrazování a ukládání dat akustické emise, naměřených a předzpracovaných pomocí zařízení AE 10L a PC adapteru, slouží program LabView. Schéma měření akustické emise zobrazena na obr.7. Program zaznamenává data v reálném čase do diskového souboru, který po odměření slouží jako podklad pro další zpracování a analýzu, která je prováděna pomocí vlastního vytvořeného software na počítači. Program analýzy signálu AE umožňuje hodnotit řadu parametrů signálu AE, jako například počet překmitů signálu v několika různých frekvenčních pásmech, nebo v několika různě širokých pásmech energetických úrovní.



Obr. 7: Schéma měření akustické emise

Snímače musí tedy snímat velmi malé posuvy. Nejčastěji se proto používá piezoelektrických převodníků, které převádí mechanické kmity na elektrické. Snímače tohoto typu mají dostatečnou citlivost a frekvenční rozsah řádově do 10^5 Hz, výjimečně do 10^6 Hz.

Nejvhodnějším piezoelektrickým materiálem pro snímače AE je piezokeramika. Piezokeramický element ve tvaru kotoučku určuje jak citlivost, tak i frekvenční charakteristiku snímače. Horní hranice snímaných povrchových napět'ových vln je dána průměrem elementu. Aby pracoval v širokém pásmu frekvencí je na něm umístěna zátěž. Zátěž se většinou vyrábí z epoxidového lepidla smíchaného s částčkami o vysoké měrné hmotnosti přizpůsobených k akustické impedanci elementu čímž je zaručen vysoký útlum akustických vln a potlačena resonance. [3]

Aparatura pro měření AE se skládá z měřicího piezoelektrického snímače, analyzátoru akustické emise AE 10L s předzesilovačem a počítačů z měřicí kartou PCI6023E. Pro zpracování signálů byl použit hardware, co umožňuje řízení a spolupráci aparatury AE 10L s počítačem. K ovládání aparatury, zobrazení a ukládání dat byl použit program LabView. Průběh signálu AE je zaznamenán do souboru, který je uložen na pevném disku počítače.

2.2 Přímé měření rychlosti posuvného pohybu

Je možné senzory s pohyblivou cívkou (elektrodynamické), nebo s pohyblivým magnetem (elektromagnetické).

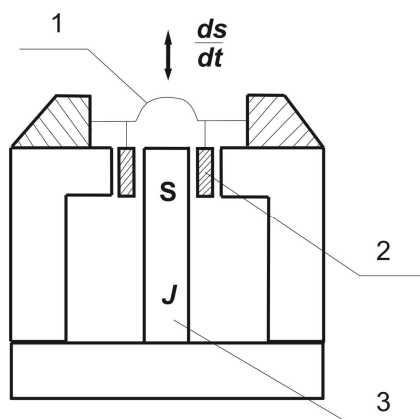
Výstupní napětí U elektrodynamického senzoru je dáno indukčním zákonem

$$U = Blv \text{ [V; T, m, m.s}^{-1}\text{]}$$

kde B je indukce magnetického pole v mezeře radiálního magnetu,

l délka vodiče pohyblivé cívky 2,

v rychlost relativního pohybu cívky a magnetu 3. Princip činnosti je znázorněn na obr.8.



Obr. 8: Elektrodynamický senzor rychlosti kmitů

Typické citlivosti jsou při $B = 1T$ a počtu závitů cívky odpovídající odporu kolem 500 Ω

jsou 10 V/m.s^{-1} , unikátní senzory pro seismická měření s cívkou z velmi tenkého drátu (odpor $5 \cdot 10^5 \Omega$) dosahují citlivosti až 10 kV/m.s^{-1} . Zdvih cívky je několik mm, chyba nelinearitou menší než 1%. Pro větší zdvihy je vhodnější verze senzoru s pohybem permanentního magnetu uvnitř dlouhého solenoidu. Výhodné je diferenciální uspořádání (dvě cívky, magnet zasahuje v klidové poloze asi do poloviny cívek), citlivost asi $2,5 \text{ V/m.s}^{-1}$, nelinearita $\leq 1\%$.

2.3 Dynamometr firmy Kistler jako nástroj pro měření sil

Vícesložkové dynamometr s držákem a upínací deskou až 30 kN pro měření řezné síly při soustružení, frézování, broušení, měření na modelech v aerodynamických tunelech. Má řadu výhod: vysoké rozlišení, velká tuhost, vysoká vlastní frekvence, odolnost proti vlivům teploty (základní jednotka může být připojena k chlazení), odolnost proti korozi, chráněny proti vniknutí vody, spreje a řezné kapaliny. Specifikace dynamometru Kistler je zobrazena v tabulce 1.

Specifikace			Type 9265B
rozsah měření	F _x , F _y , F _z	kN	±15
citlivost	F _x , F _y	pC/N	≈-8
	F _z	pC/N	≈-3.7
Rozsah provozních teplot	°C		0...70
těsnění	svařované / epoxidové (IP67)		

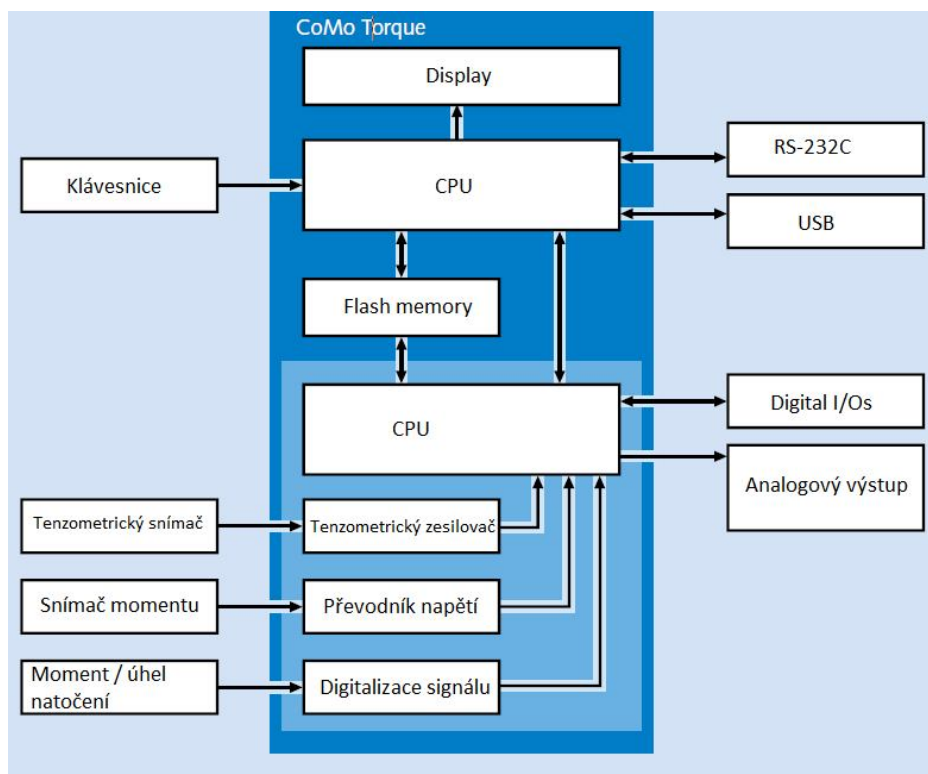
Tab. 1. Specifikace dynamometru Kistler



Obr. 9: Zobrazení dynamometru firmy Kistler

Dynamometr je ideální pro užívání v průmyslu, výzkumu a vývoji. Dynamometr standardizované citlivosti, napětí a frekvenční lze připojit přímo. Umožňuje snadno fixovat

hodnocení momentu, otáčky nebo točivý moment, měření úhlu natočení ve výrobě. Pro názornost byl přiložen obr.9. Jeho intuitivní menu umožňuje rychlé připnutí na nové měření a zkušební úlohy. Všechny funkce, jako je tárování, ukládání maximálních hodnot, nastavení limit, rozsah zobrazení jednotek a parametry rozhraní, jsou snadno použitelní. Přístroj Kistler 1565 převádí náboj z vlastního snímače, který je namontovaný na obráběcím stroji. Převede ho na signál, který může zpracovávat počítač. Blokové schéma vyhodnocovacího přístroje Kistler Type 5019 je zobrazena na obr.10.



Obr. 10: Blokové schéma vyhodnocovacího přístroje Kistler Type 5019

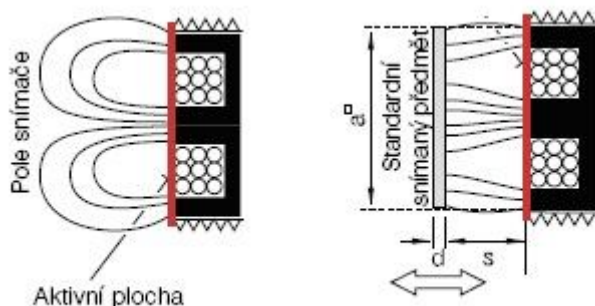
Vlastnosti:

- Závislost na čase $M(t)$ a $N(t)$ nebo $J(t)$ měření
- Správné zobrazení měřené veličiny (kroutící moment, rychlost, úhel natočení, síly a mechanické energie)
- Jednotky: $N \cdot mm$, $N \cdot cm$, $N \cdot m$, $kN \cdot m$, N , kN , ot/min , W , kW , MW
- 4x20 znakový displej
- Vícejazyčné menu
- Vysoká přesnost měření $<0,05\%$
- Vysoké vzorkovací frekvenci 10 kHz

- Filtr nízkých frekvencí (ve vypnutém stavu, 1 Hz ... 5 kHz)
- Paměť až na 5 000 naměřených hodnot pro každý kanál
- Určení Min./Max. a omezení monitorování
- USB nebo RS-232C sériový přenos dat
- Integrace s SensorTool (PC software)
- Normalizování analogových výstupy

2.4 Měření úbytku obrobku pomocí indukčnostního snímače BALLUFF UAD25F-BP03

Princip indukčnostního snímače BALLUFF UAD25F-BP03 je založen na vzájemném působení mezi kovovými vodiči a střídavým elektromagnetickým polem. V kovovém snímaném tlumícím materiálu jsou indukovány vířivé proudy, které odebírají energii z pole a snižují velikost oscilační amplitudy. Tato změna je indukčnostním snímačem vyhodnocena. Aktivní plocha je oblast, kterou vstupuje vysokofrekvenční pole snímače do vzduchové mezery. Princip činnosti je znázorněn na obr.11. Je to v první řadě plocha hrníčkového jádra, která přibližně odpovídá ploše povrchu čepičky snímače.



Obr. 11: Princip fungování indukčnostního snímače BALLUFF 15B-BP03

Zpoždění při zapnutí je čas mezi připojením napájecího napětí a počátkem provozního stavu indukčnostního snímače. Tento čas nesmí být v žádném případě delší než 300 ms. V tomto čase nesmí trvat žádný falešný signál déle než 1 ms. Jmenovitá frekvence rozvodné elektrické sítě je 50 popř. 60 Hz. Zaručená spínací vzdálenost „S“ je spínací vzdálenost, pro kterou je správná funkce snímače zaručena v celém rozsahu dovolených provozních podmínek napájecího napětí a teploty. Jmenovité pracovní napětí U_e je napájecí napětí U_B bez tolerancí. Pro stanovení jmenovitých a limitních hodnot musí být snímače provozovány při U_e pro DC snímače $U_e = 24 \text{ VDC}$. Napájecí napětí je 15...30 VDC. [14]

2.5 Programovací prostředí LabVIEW

LabVIEW – grafické vývojové prostředí pro měření a automatizaci, představené v roce 1986, má za sebou více než 20 let inovací a neustálého vylepšování. Ačkoli bylo prostředí LabVIEW původně představeno jako nástroj pro programování měřicích přístrojů, postupem času se z něj vyvinula všeobecná platforma pro návrh, měření a řízení. Během let se původní skupina uživatelů LabVIEW rozrostla na velkou a aktivní uživatelskou základnu, která pokrývá širokou řadu oborů a aplikací a díky níž se toto prostředí stalo jedním z nejpopulárnějších pro sběr dat a řízení přístrojů.

LabVIEW je plnohodnotný programovací jazyk se stejnými programovými strukturami, které jsou v abstraktních textových jazycích. Navíc nabízí grafický programovací jazyk LabVIEW unikátní možnosti pro programování paralelních procesů a pro běh programů v reálném čase. Uživatelé nyní mohou ve svých grafických programech používat různé koncepty, např. objekty, třídy, metody, vlastnosti, zapouzdření, dědičnost nebo polymorfismus.

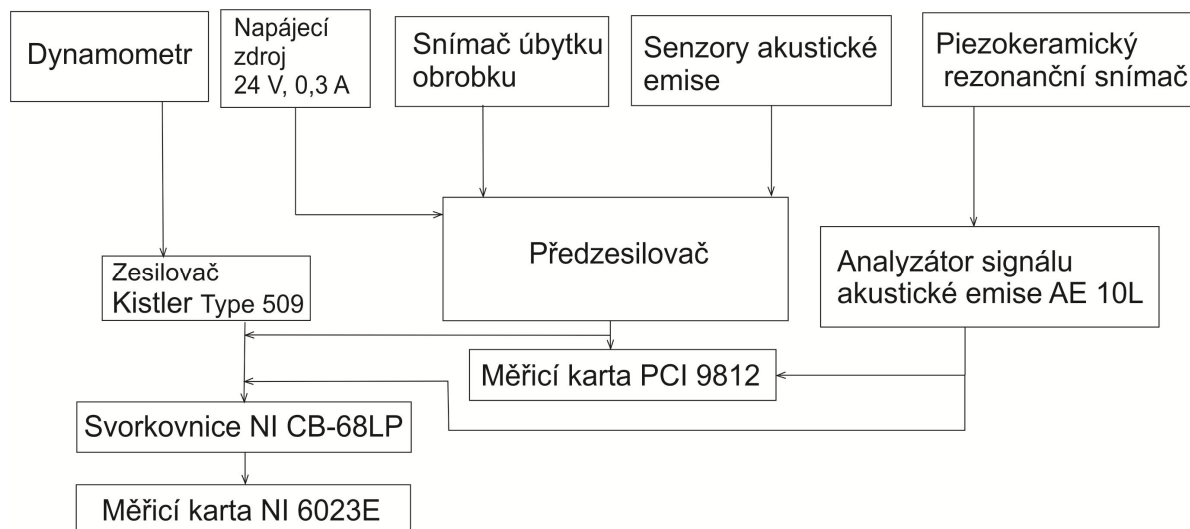
Ačkoli bylo před 20 lety LabVIEW skutečně zaměřeno na automatizaci měření, postupem času bylo cíleně vylepšováno a rozšiřováno do mnoha nových oblastí a různorodých aplikací. Funkčnost, jednoduchost používání a flexibilita celé platformy LabVIEW způsobily samovolné rozšíření do mnoha oborů.

LabVIEW a National Instruments jsou v současnosti všeobecně známými pojmy v aplikacích testování a měření. Vzhledem k tomu, že prostředí LabVIEW zjednodušuje ovládání přístrojů a měření, je často využíváno pouze jako nástroj pro testování a měření. LabVIEW představuje celou novou sadu možností integrovaných do jedné skupiny grafických vývojových prostředí, která zrychluje vývoj algoritmů, vytváření prototypů systémů a konečně i nahrání kódu do hotového zařízení. V prostředí LabVIEW lze velice rychle propojit teorii návrhu algoritmů s reálnými vstupy a výstupy, což umožňuje návrhářům realizovat velmi složité konstrukce do hardwarových prototypů a velice snadno pracovat s reálnými signály.

Pomocí sady nástrojů Modulation Toolkit mohou uživatelé prostředí LabVIEW rychle navrhovat a vytvářet vlastní komunikační protokoly. Sada nástrojů poskytuje VI pro kódování zdroje, kódování kanálu a modulaci, takže návrháři mohou snadno experimentovat s novými standardy komunikace nebo si nadefinovat vlastní komunikační protokol. Grafický jazyk LabVIEW přirozeně reprezentuje tok signálu komunikačního vysílače prostřednictvím různých kroků v kódování a modulování signálů, což umožňuje intuitivní prezentaci systému. [12]

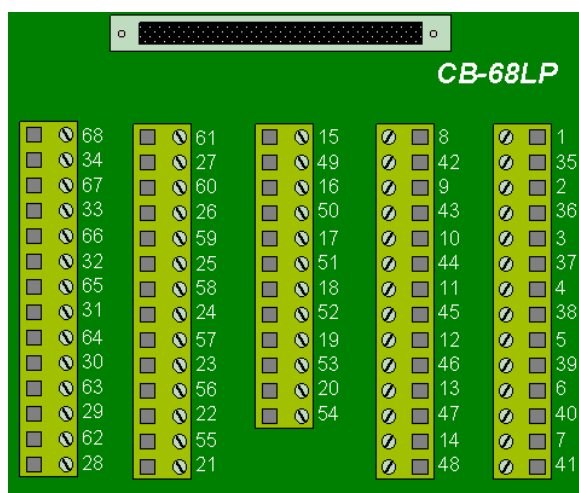
3. Vytvoření měřicího programu a provedení testovacích měření.

3.1 Zapojení měřicího zařízení



Obr. 12: Blokové schéma sériového zapojení měřicího zařízení

Měřicí přístroj Kistler 9265B se skládá s dynamometru a modulu Kistler Type 509, který jsou zapojeny v sérii. Blokové schéma sériového zapojení měřicího zařízení je zobrazena na obr.12. Modul má funkci zesilovače signálu pro další zapojení měřicí karty firmy National Instrument NI 6023E přes svorkovnice měřicí karty NI CB-68LP. Schéma svorkovnice měřicí karty NI CB-68LP je zobrazena na obr.13.



Obr. 13: Schéma svorkovnice měřicí karty NI CB-68LP

Měřicí karta a svorkovnice je propojení mezi sebou 68 pinovým kabelem typu NI R6868. Maximální rychlost propojení je 200 kb/s. Pro zapojení měřicí karty k počítači je nutné nainstalovat potřebné drivery, který se dají stáhnout na oficiálních stránkách firmy

National Instrument. Schéma zapojení svorkovnice a příslušného zařízení je na nich též k dispozici. Pro názornost schéma zapojení svorkovnice měřicí karty je zobrazena na obr.14.

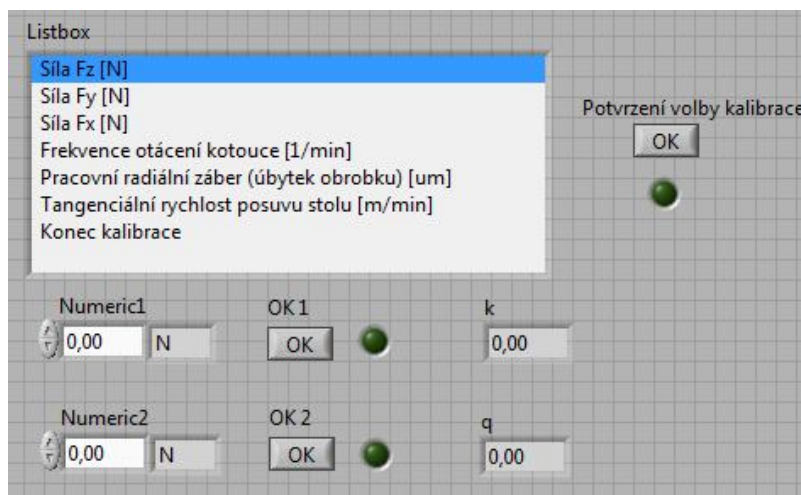
AI 8	34	68	AI 0
AI 1	33	67	AI GND
AI GND	32	66	AI 9
AI 10	31	65	AI 2
AI 3	30	64	AI GND
AI GND	29	63	AI 11
AI 4	28	62	AI SENSE
AI GND	27	61	AI 12
AI 13	26	60	AI 5
AI 6	25	59	AI GND
AI GND	24	58	AI 14
AI 15	23	57	AI 7
NC	22	56	AI GND
NC	21	55	AO GND
NC	20	54	AO GND
P0.4	19	53	D GND
D GND	18	52	P0.0
P0.1	17	51	P0.5
P0.6	16	50	D GND
D GND	15	49	P0.2
+5 V	14	48	P0.7
D GND	13	47	P0.3
D GND	12	46	AI HOLD COMP
PFI 0/AI START TRIG	11	45	EXT STROBE
PFI 1/AI REF TRIG	10	44	D GND
D GND	9	43	PFI 2/AI CONV CLK
+5 V	8	42	PFI 3/CTR 1 SRC
D GND	7	41	PFI 4/CTR 1 GATE
PFI 5/AO SAMP CLK	6	40	CTR 1 OUT
PFI 6/AO START TRIG	5	39	D GND
D GND	4	38	PFI 7/AI SAMP CLK
PFI 9/CTR 0 GATE	3	37	PFI 8/CTR 0 SRC
CTR 0 OUT	2	36	D GND
FREQ OUT	1	35	D GND

Obr. 14: Schéma zapojení svorkovnice měřicí karty NI CB-68LP

Snímač úbytku obrobku a senzor akustické emise je zapojen k předzesilovači co je napájen z napájecího zdroje na 24V a 0,3 A. Zesílený signál úbytku obrobku je zapojen ke svorkovnici měřicí karty NI CB-68LP a dále pokračuje k měřicí kartě NI PCI6023E prvního počítače. Druhý počítač odpovídá za snímání toku dat akustické emise. Senzor akustické emise je přes zesilovač napojen na měřicí kartu druhého počítače. Signál z piezokeramický rezonanční snímač postupuje přes předzesilovač až na analyzátor signálu akustické emise, kde snímáný signál putuje AE k měřicí kartě NI PCI6023E. Blokové schéma sériového zapojení měřícího zařízení je zobrazena na obr.12. Analyzátor signálu AE 10L vyplňuje roli filtru akustického signálů. Zároveň signál označující přítomnost obrobku pod senzory AE postupuje k svorkovnici měřicí karty NI CB-68LP prvního počítače a používá se pro další využití ve vyhodnocovacím programu.

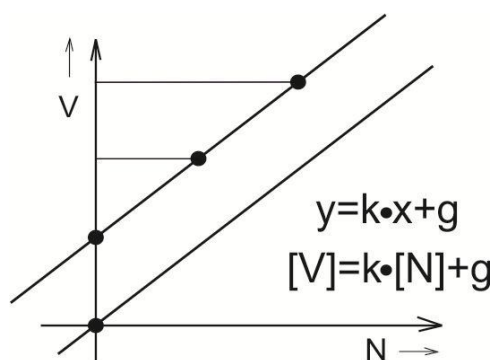
3.2 Kalibrace měřicích přístrojů

Kalibrace měřicích přístrojů je jedna z nejpodstatnějších věcí v procesu provádění měření a vyhodnocování dat. Pro kalibrace v programovacím prostředí LabView byl připraven zvláštní program. Je samozřejmé, že metody kalibrace vypadají pro každý stroj jinak. Vzhled kalibračního programu zobrazen na obr.15.

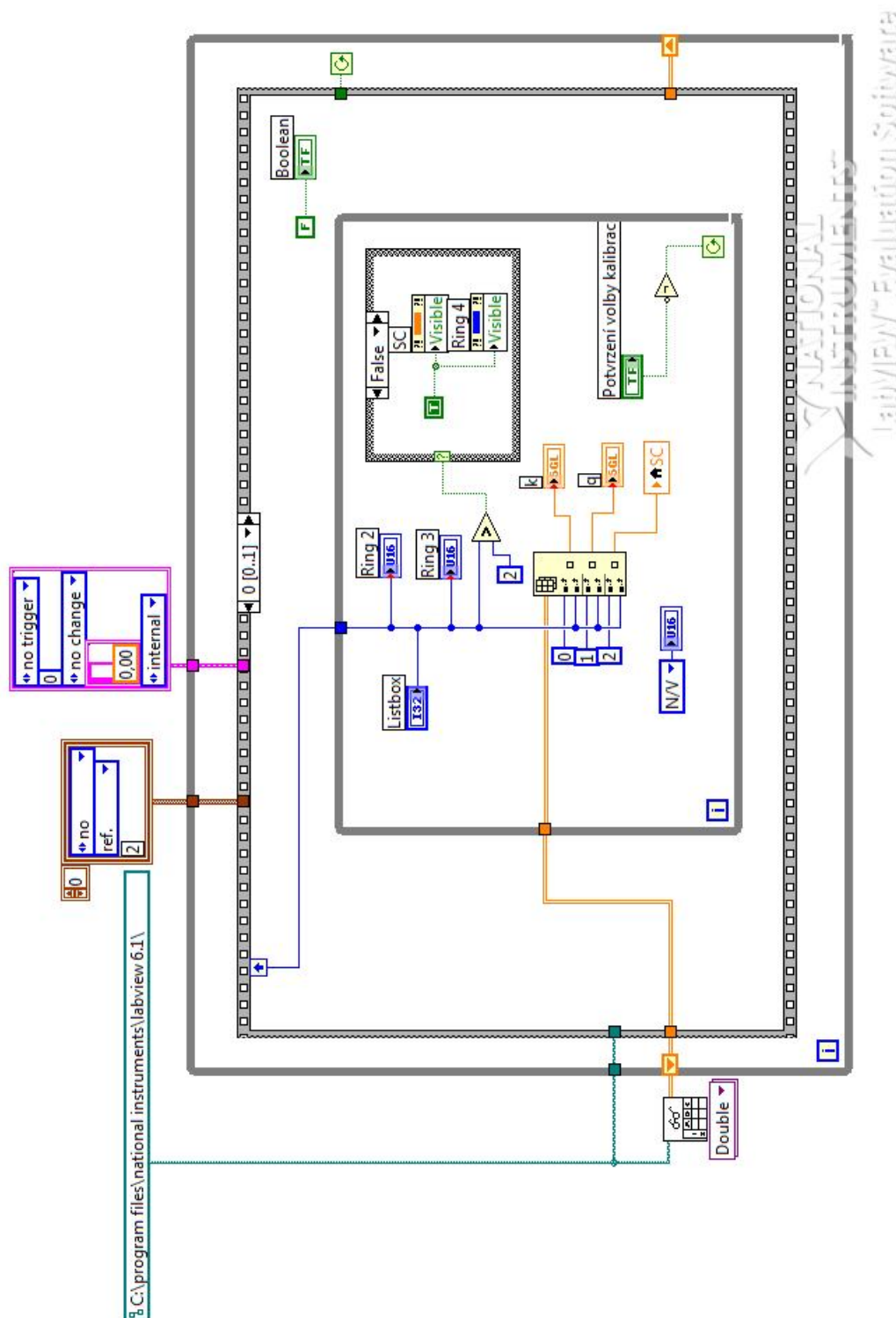


Obr. 15: Vzhled kalibračního programu

Kalibrace se provádí pomocí dvou bodů. Snímače mají lineární průběh – to znamená, že závislost snímaných hodnot na napětí je lineární. Nejčastěji se snímá první nulová hodnota, druhý bod bude potom známý. Například kalibrace pro Z-složku síly se provádí tak, že na snímač položíme závaží a na základě známé hodnoty hmotnosti závaží vyhodnotíme oba koeficienty kalibrace. Pro názornost byl přiložen obr.16.



Obr.16: Princip výpočtu kalibrace



Obr. 17: Kalibrační program

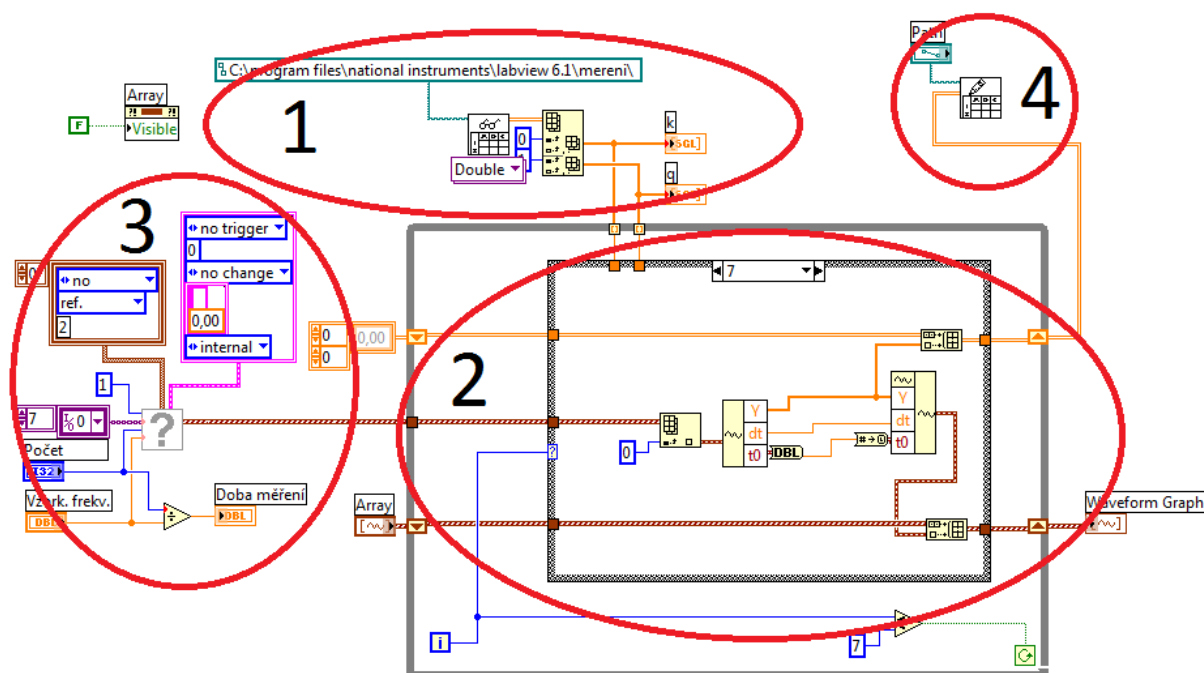
Přístroj zkalibrujeme následujícím způsobem: Osa kalibrace „Fy“ se provádí tak, že dynamometr se ve stroji zafixuje a my na něj tlačíme snímačem ve směru síly „Fy“. Tím zaznamenáme její hodnotu a uložíme ji do kalibračního programu.

Otáčky kotouče snímáme otáčkoměrem, který je ve stroji zabudován od výroby. Jejich hodnotu je možné odečíst z digitálního ukazatele. Pro názornost je na obr.17 zobrazen program pro výpočet kalibračních parametrů. Kalibrace pro úbytek obrobku se provádí za pomoci měrek.

3.3 Měření radiálních a posuvových sil, otáček kotouče, rychlosti stolu, úbytku kotouče a ukládání dat do souboru

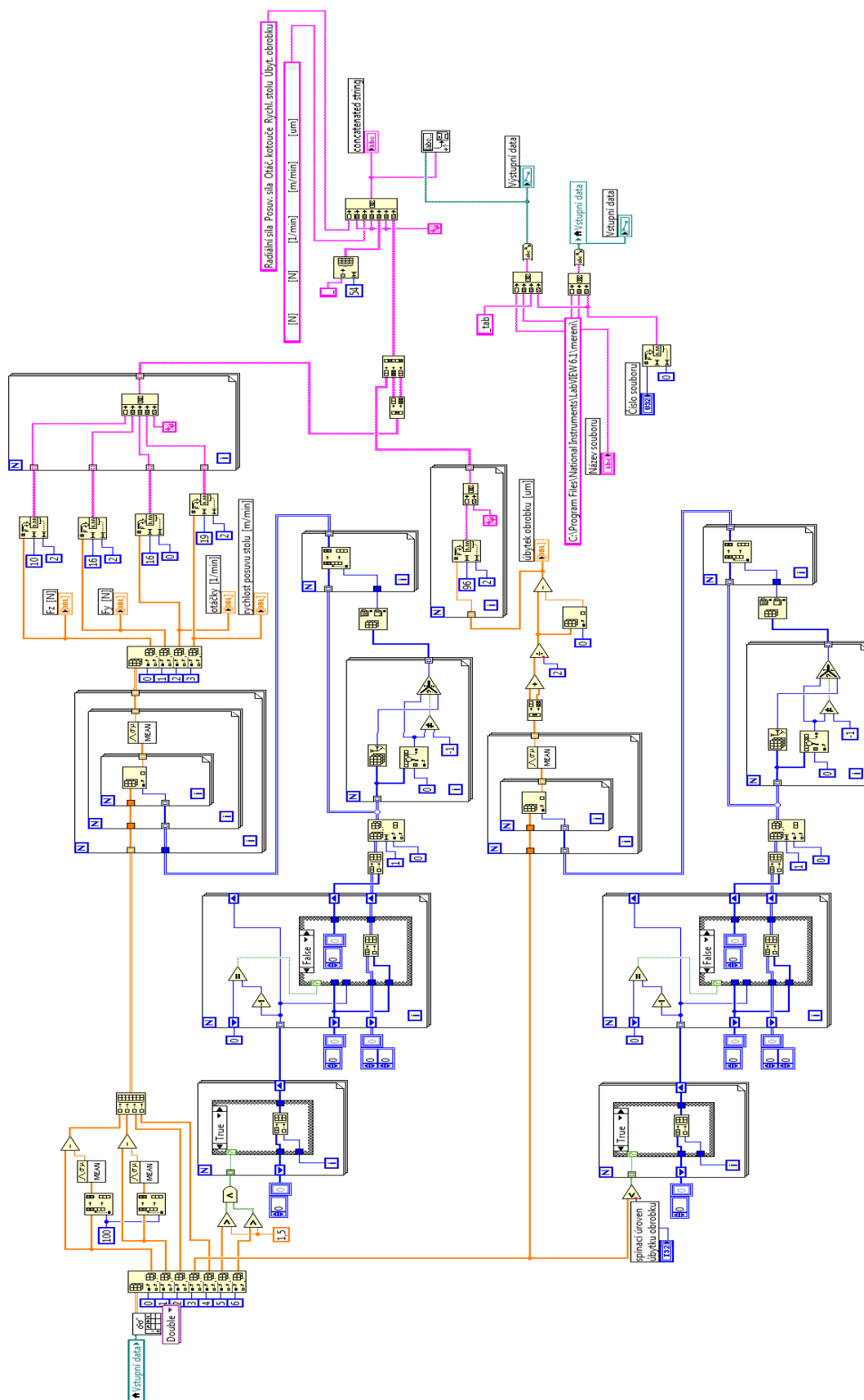
Počet vzorků máme nastaven na 30000. Vzorkovací frekvence je 1000 Hz, takže doba měření je 30 sekund. Zadáme umístění kalibračního souboru (koeficient „k“ je uložen pod nulou a „q“ pod jedničkou). Tyto dva koeficienty mají tvar jednorozměrného pole, kde v oknech 0 až 6 jsou data příslušná následujícím měřeným veličinám: radiální síle, posuvací síle, otáčkám kotouče, úbytku obrobku, rychlosti posuvu stolu a průsečíkům, které znamenají začátek a konec přítomnosti obrobku pod senzory AE.

Pamatujeme si, že příčná síla na dynamometru pro nás není důležitá, a proto se neměří. Po načtení dat se v okně „Case Structure“ se provádí proces kalibrace, což zde znamená přidání koeficientů „q“ a „k“. Po kalibraci ukládáme data do souboru a pomocí ikony „Waveform Graph“ zobrazíme výchozí graf. Pro ilustraci je na obr. 18 zobrazen program pro měření radiálních a posuvových sil, otáček kotouče, rychlosti stolu a úbytku kotouče s následným uložením dat do souboru. Část „1“ je pro zavedení kalibračních hodnot, část „2“ je počítačící část programu (vypočítá skutečnou hodnotu veličin na základě naměřených dat a kalibračních veličin) část „3“ je pro vstupní hodnoty měření a „4“ pro ukládání dat do souboru.



Obr. 18: Program určený k měření a ukládání dat pro proces broušení.

3.4 Vyhodnocení výsledků měření a ukládání dat

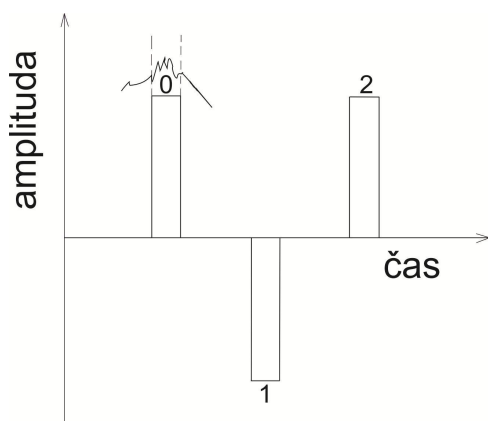


Obr. 19: Program pro vyhodnocení výsledků měření a ukládání dat

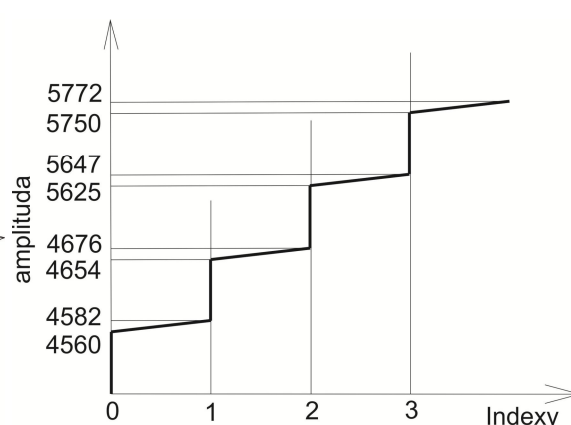
Po zavedení „Vstupních dat“ provádí program čtení a rozklad dvourozměrného pole do

jednorozměrného. Pro představu je přiložen obr. 19. To je poté rozděleno na jednotlivé složky: Fz, Fy, Otáčky, Úbytek obrobku, 5-6 jsou signály ze snímače polohy kotouče. Pro názornost jsem přiložil obr. 17, na kterém je vyhodnocení výsledků a ukládání dat.

Musíme vystihnout okamžik, kdy se obrobek nachází mezi dvěma snímači AE. Pro představu je přiložen obr. 20. Rozhodovací napětí senzoru je 0 nebo 2,1 V. Hodnota rozhodovacího napětí v programu je nastavena na 1,5 V, což znamená, že když hodnota překročí práh 1.5 voltu, program se spustí a vygeneruje logickou jednotku. Tak zjistíme, že obrobek je mezi dvěma snímači.

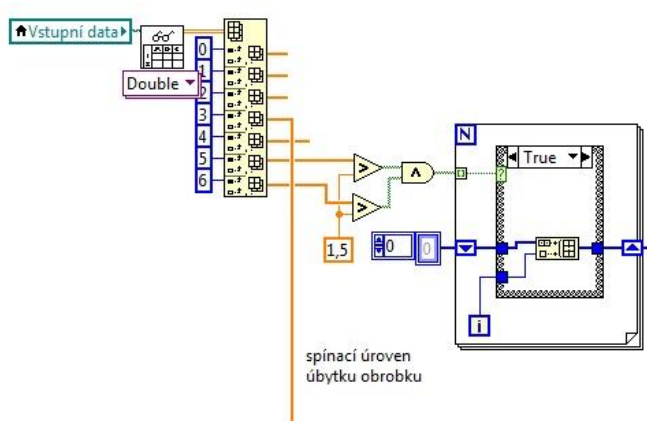


Obr. 20: Průběh měřicího signálu



Obr. 21: Tvar složeného pole

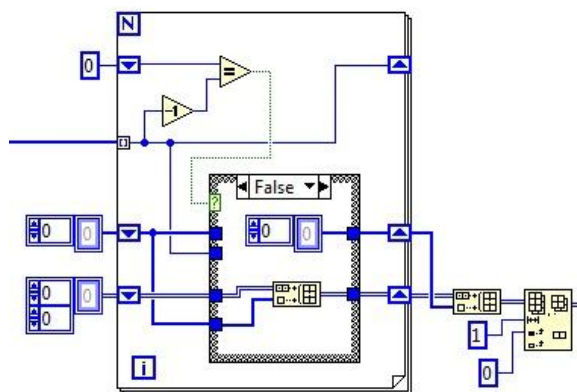
Při každém cyklu (posuvném pohybu stolu tam a zpět) opakuje příslušná buňka proces generování logické jednotky. Počet „N“ odpovídá počtu měření. Posuvný registr bude ukládat hodnoty do té doby, dokud se bude objevovat jednička. Logická jednotka „True“ znamená logickou jedničku, „False“ nulu. Část programu, odpovídající za tento proces, je znázorněna na obrázku 22.



Obr. 22: Princip detekce obrobku s pomocí senzorů AE.

Nyní musíme ze složeného pole získat jednotlivé úseky. Ve chvíli, kdy dochází ke čtení dalšího úseku, což je identifikováno logickou jedničkou, musíme vytvořit další pole. Pro názornější popis části programu, odpovídající za výše uvedené, je přiložen obr. 19. Dále

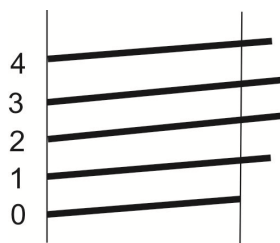
program zjišťuje, zda je předchozí stav je o jedničku menší, než ten nynější. Princip je znázorněn na obrázku 23.



Obr. 23: Rozdělení stavu signálu na jednotlivé úseky

Pokud je výše uvedená podmínka splněna, jsme ve stavu „True“ a program ukládá hodnoty do dvojrozměrného pole. V případě, že se současný stav a stav předchozí rovnají, dojde k skoku („False“) a pole výsledků prvního měření se uloží do dvojrozměrného pole. Poté se zase vytvoří prázdné jednorozměrné pole, aby se mohlo pokračovat znovu. Tímto způsobem pokračuje program až do konce. Problémem je, že je třeba vyloučit výsledek prvního měření s indexem „nula“. K tomuto účelu slouží ikona „Delete From Array“.

Nyní existuje dvojrozměrné pole, kde ne každé pole je stejně dlouhé. Tento fakt je znázorněn na obr. 24.



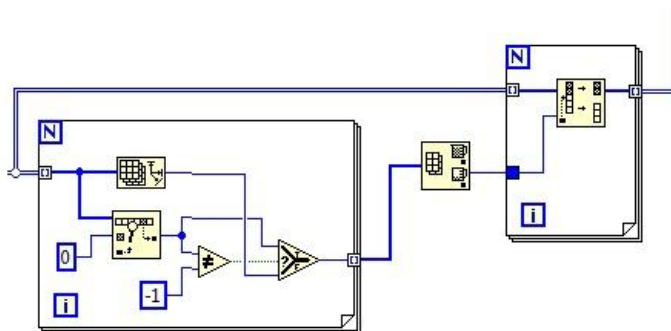
Obr. 24: Dvojrozměrné pole na výstupu

My ovšem potřebujeme, aby byla pole stejně dlouhá. K tomuto slouží další část programu – kratší pole doplní nulami a delší ořízne. Toto je znázorněno na obr. 25.

kanál 0	°	°	°	°		
kanál 1	°	°	°	°	0	0
kanál 2	°	°	°	°		

Obr. 25: Princip vytváření polí stejné délky

Najdeme pole, které je nejkratší, a použijeme jej jako vzor. Proces spočívá v rozložení dvojrozměrného pole na jednotlivé prvky. Poté program za pomoci ikony „Search 1D array“ hledá v jednorozměrném poli nuly.

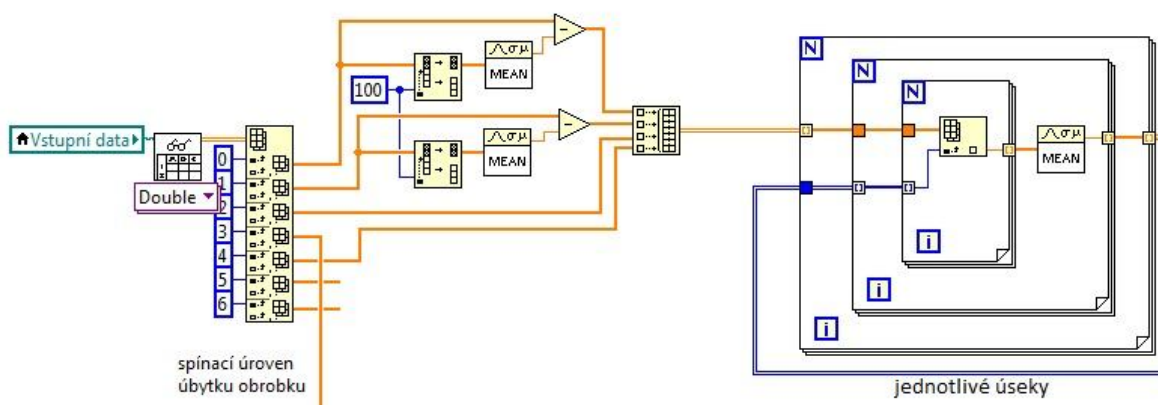


Obr. 26: Rozdělení pole na určité úseky se stejnou délkou

V případě, že program žádnou nulu nenajde, výstupem bude “-1”. Pro zjištění přítomnosti “-1” se použije ikona “Not equal”, která zároveň určí délku nejkratšího pole. Dále se vyberou dvě části nejkratšího pole – to s prvním a to s posledním indexem. Tím se získají úseky pole, jenž budou mít stejnou určitou délku. Zde už žádné nuly nejsou. Pro názornost je přiložen obrázek 26.

Funkce tárování slouží k automatickému nastavení nuly v při chodu stroje na prázdno. Ze 100 hodnot (což odpovídá přibližně 1 sekundě měření), se sbírají veličiny F_z a F_y . Dále se z nich spočítá střední hodnota, která se odečte od původních naměřených hodnot (k tomu slouží ikonka “Mean”).

Z ostatních veličin (“otáčky”, “posuv stolu”, “ F_z ” a “ F_y ”) je vytvořeno dvojrozměrné pole. Z něj budou vybrány hodnoty, které se nachází v úsecích, které potřebujeme. Existuje zde tedy dvojrozměrné pole, které je třeba rozložit na 4 pole jednorozměrná. K tomuto slouží 3 okna „For Loop“. V těchto polích proběhnou 4 cykly (pro 4 hledané veličiny). Princip tohoto je znázorněn na obrázku 27.

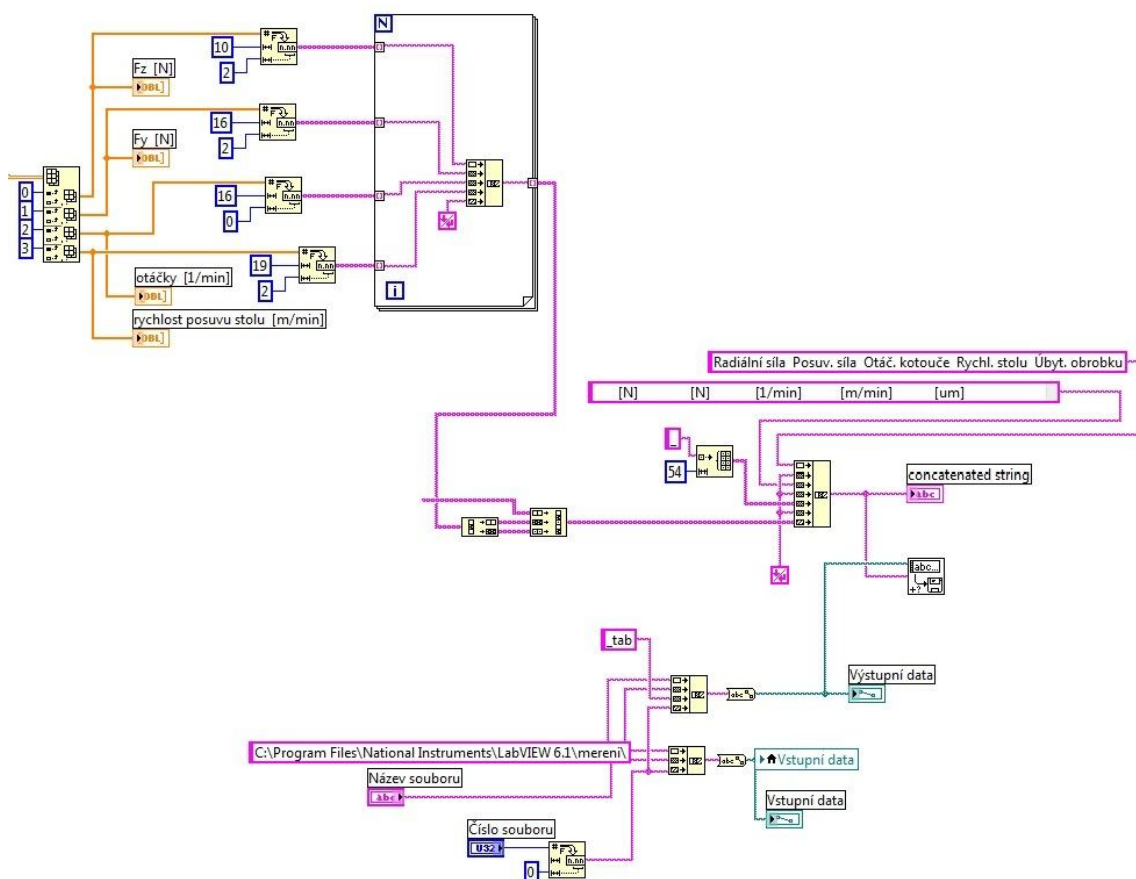


Obr. 27: Část programu pro tárování

Na pozici pole s indexem “nula” se nachází F_z , na pozici s indexem “jedna” je F_y . Na pozici “dva” budou otáčky a na “tři” hodnota velikosti rychlosti posuvu stolu.

Následuje výběr indexů příslušných výše uvedeným hodnotám. Tyto se opět oříznou podle členu s nejmenší délkou a z výsledných hodnot a z těchto je vypočítána střední hodnota.

Zbývající části programu mají převážně funkce vztahující se k zobrazování, a to následující: Rozložení vícerozměrného pole na jednorozměrné. Za pomoci “WaveForm Graph” se zobrazí naměřené hodnoty na monitoru. Hodnoty, které jsou číselného datového typu, se převedou na typ „string“, přičemž se určí, kolik míst (počet čísel) se bude zapisovat. Účelem tohoto je zarovnaný tvar tabulky.

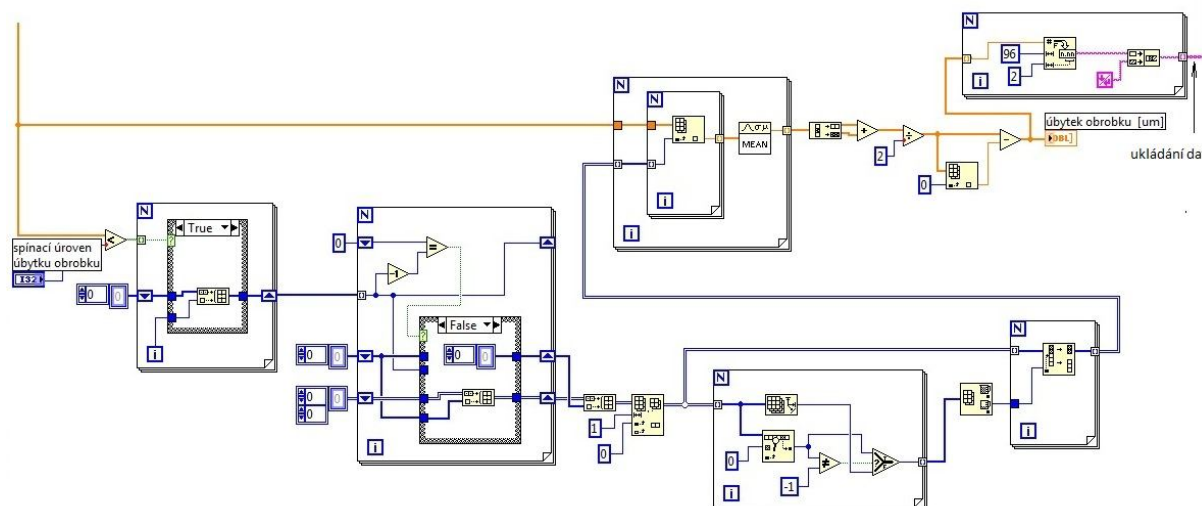


Obr. 28: Část programu pro ukládání dat a jejich zobrazení

Zobrazení se provádí následujícím způsobem: vyplní se hlavička tabulky, nastaví se automatický přesun na začátek řádku po zaplnění toho předchozího, dále se popíšu všechny použité jednotky, nastaví se 54 míst podržítka mezi daty, poté zvlášť zavádíme „úbytek obrobku“. Mezi všemi daty musí být nastavena nějaká vzdálenost, aby nedocházelo k překrývání. Takto se data každé měřené veličiny postupně ukládají do pole, přičemž každá z hodnot má svůj řádek. Po uložení tabulky je možno ji otevřít pomocí programovacího prostředí Microsoft Excel, Textový dokument nebo v Microsoft Word.

Část programu pro ukládání dat je zobrazena na obr. 28.

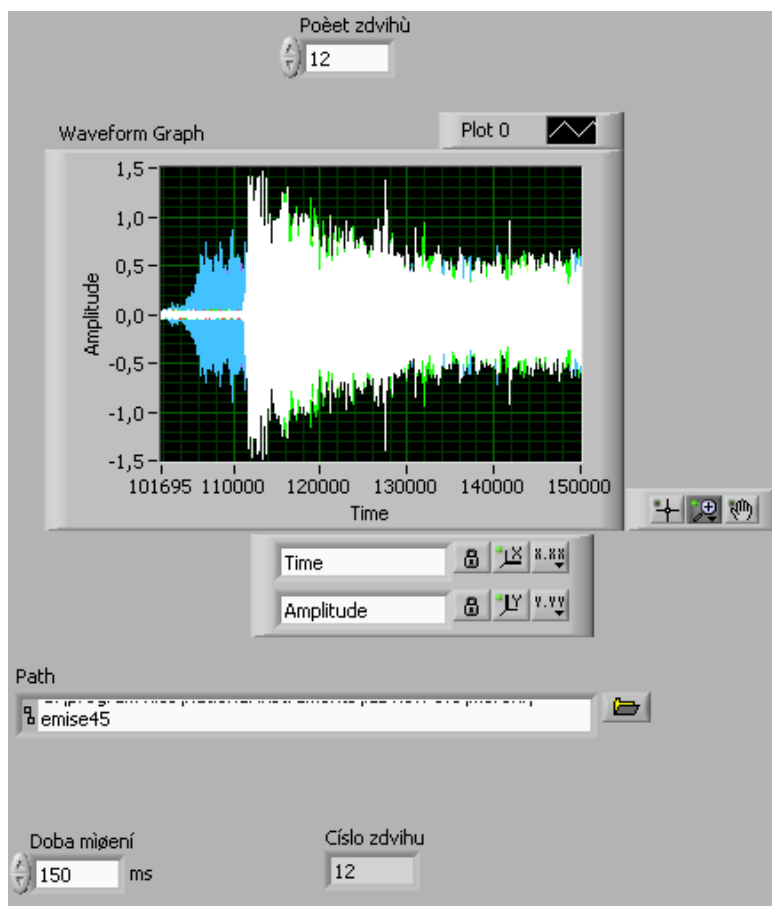
„Spínací úroveň úbytku obrobku“ je tlačítko, které slouží pro případ, kdy obrobek není ve vhodné vzdálenosti pod zařízením pro měření úbytku obrobku, a kde potom hodnoty úbytku obrobku klesají hluboko dolů. Tímto tlačítkem tedy můžeme přepínat hodnotu úrovně úbytku obrobku. Program pro výpočet úrovně úbytku obrobku je zobrazen na obr. 29.



Obr. 29: Program pro výpočet úrovně úbytku obrobku

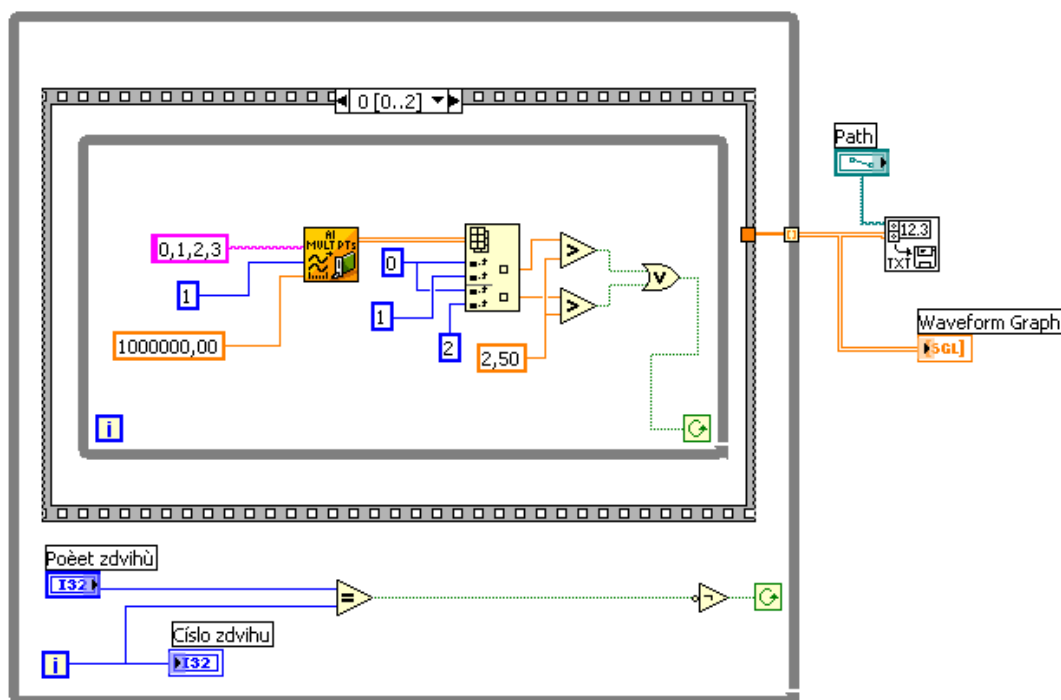
Tento program v základu stejný, jako program pro práci s ostatními veličinami a který byl již popsán. Rozdílem ovšem je, že zde je kvůli měření jen jedné veličiny výstupem pouze jednorozměrné pole. Není ho proto potřeba nijak rozkládat. Dalším problémem je drobný rozdíl naměřených hodnot při pohybu stolu s obrobkem pod kotoučem, protože stůl se pohybuje tam a zpět. Stůl se totiž pohybuje po vedení a kromě pohybu horizontálního se vlivem setrvačných sil mění i jeho poloha vertikální. Vzdálenost mezi senzorem a obrobkem nebyla během pokusu v případě pohybu tam stejná jako při pohybu zpět. Aby se tento fakt eliminoval, byly hodnoty vzdálenosti při obou typech pohybu zprůměrnovány.

3.5 Měření akustické emise a ukládání naměřených údajů



Obr. 30: Okno zobrazení výsledků měření akustické emise

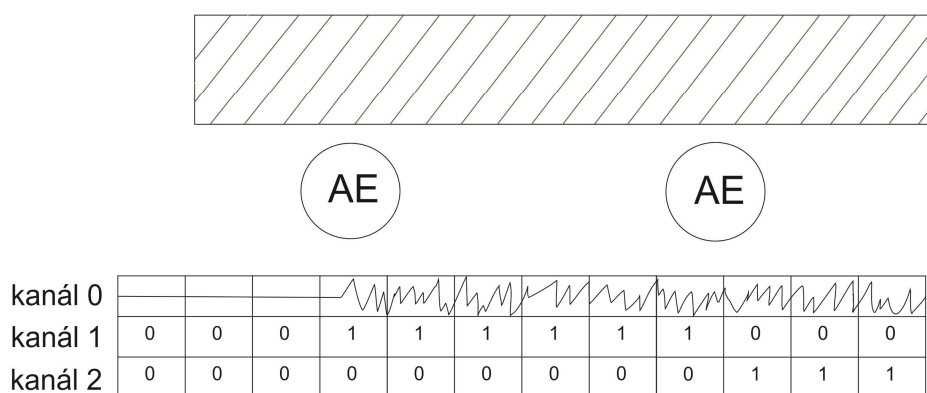
Celý systém měření akustické emise se skládá ze dvou piezoelektrických snímačů AE, modulu, který převádí vibrační signál ze snímače na potřebné napětí a počítač s odpovídajícím programem. V ten okamžik, kdy obrobek projde pod sondami AE, se spustí program - takže počet zdvihů dává možnost nastavit, kolik záznamů chce uživatel nasbírat během měření. Vzorkovací frekvence je nastavena na 1 MHz. Doba měření je 400 ms. Kanál „0“ je měřicí kanál – do něho je přiveden signál ze snímače. Kanály „2“ a „3“ indikují přítomnost obrobku pod snímačem akustických emisí. Pokud je obrobek mimo oba snímače, program se zacyklí. V okamžiku, kdy se obrobek vyskytne pod jedním snímačem (levým či pravým), měření se spustí. Okno zobrazení výsledků měření akustické emise je zobrazeno na obr. 30.



Obr. 31: Program pro měření akustické emise

Sekvenční okno „Stacked Sequence Structure“ je rozděleno na tři části. První část (nulté okno) zobrazuje případ, kdy je alespoň jeden senzor nad obrobkem. Okno číslo „1“ je případ, kdy je obrobek najet pod oba senzory a program sbírá data. Okno číslo „2“ – program neměří, obrobek je mimo detekční senzory. Jako detekce obrobku pod snímačem je použito napětí 2.5 V. Pro názornost je uveden obr.31. Porovnává se napětí 2.5 V s výstupním napětím, v případě, že výstupní hodnota je větší, program začíná měřit a ukládat hodnoty. Dvojměrné pole se skládá z měřeného signálu a dvou signálů akustické emise z obou kanálů. Příklad toho, jak se objevují data na kanálech „0, 1, 2“ je znázorněn na obr. 32.

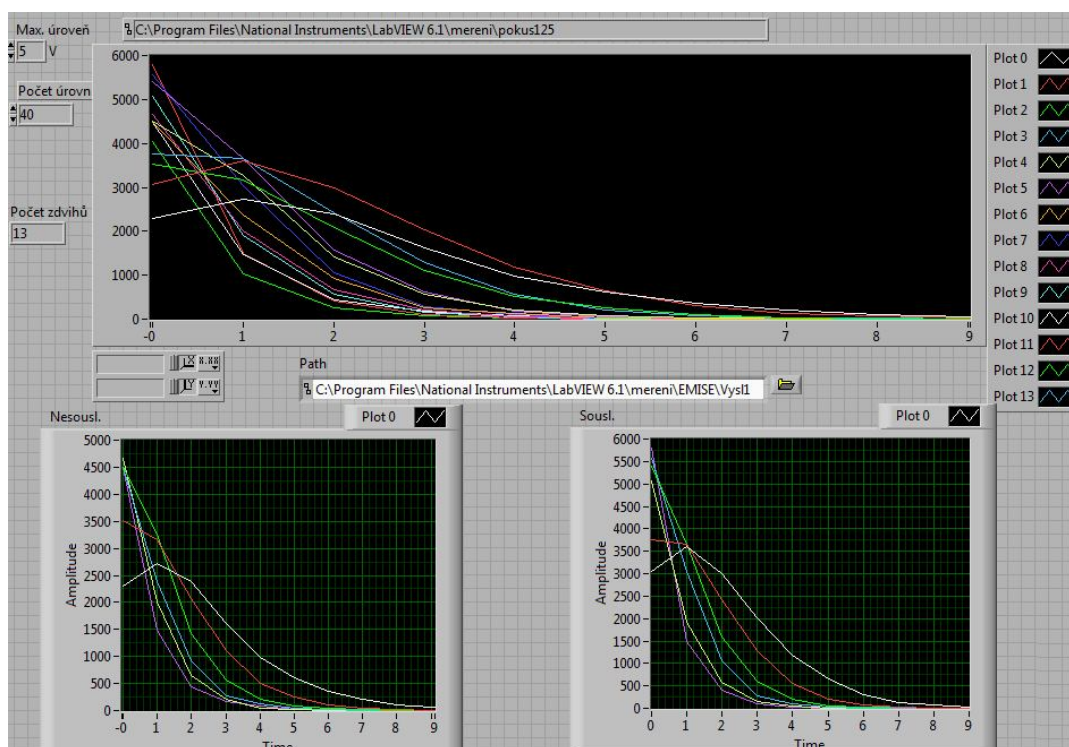
Obrobek



Obr. 32: Příklad průběhu signálu na kanálech „0,1,2“

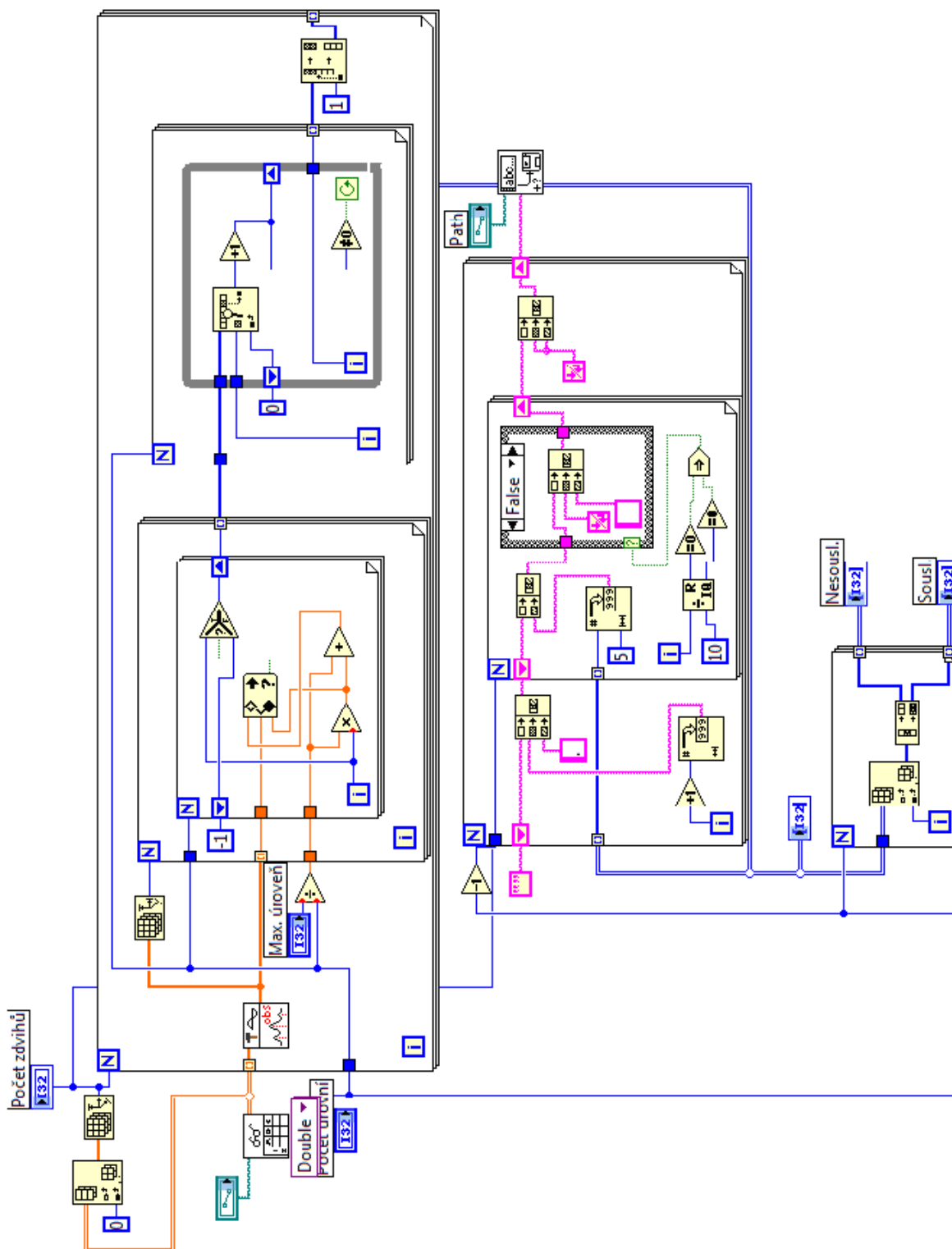
Kanály „1“ a „2“ jsou senzory. Kanál „0“ je měřicí kanál, který běží stále. Na počátku má kanál hodnotu „nula“, a v okamžiku, kdy obrobek najede pod jeden ze senzorů, se na kanálu

začíná vyskytovat kmitání. Při nájedzu obrobku pod jeden ze snímačů se na prvním kanále začíná objevovat logická jednička, v okamžiku, kdy obrobek najede pod druhý senzor se logická jednička objeví i na kanálu „2“. Výstupní data uložíme do souboru a zobrazíme s pomocí „WaveFormGraph“. Okno pro vyhodnocení výsledků akustické emise je zobrazeno na obr. 33.



Obr.33: Okno pro vyhodnocení výsledků akustické emise

Vyhodnocení AE je zobrazeno v podobě průběhu AE pomocí grafu. Křivka signálu akustické emise se rozkládá přes 40 úrovní (pásen), a to od nuly do 5 V. To znamená, že šířka jednoho pásma je 0.125 mV. Teď zjistíme, kolik špiček (lokálních maxim) se nachází v jednom polovičním cyklu (po dobu 400 ms). Protože existuje sousledný a nesousledný typ obrábění, měří se toto zvlášť pro oba. Z nich jsou poté vykresleny samostatné grafy (pro obrábění tam i zpět). Struktura programu pro vyhodnocení akustické emise je zobrazena na obr. 34.



Obr.34: Struktura programu pro vyhodnocení akustické emise

3.6 Zpracování výsledků měření

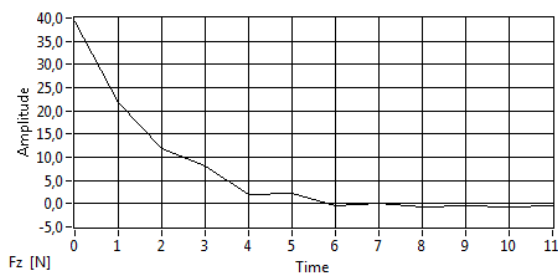
Měření bylo provedeno na třech vzorcích oceli o různých vlastnostech. Byly vybrány následující oceli: 12050, 14109 a 15260. Každý vzorek byl obroben dvěma rychlostmi otáček

kotouče při různých stanovených hloubkách záběru (0,01 mm, 0,02 mm a 0,03 mm). První rychlost byla zvolena 2000 ot/min, druhá 2500 ot/min. Pro lepší srovnání charakteristik naměřených hodnot byly dvě z oceli (12050 a 15260) zvoleny tak, že mají velký rozdíl tvrdosti. V průběhu testování nevykázal program žádné nedostatky.

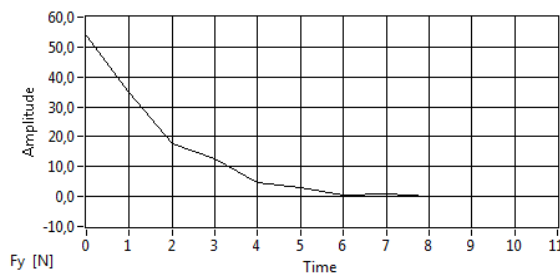
Ocel 12050

Zaber 0.02 mm

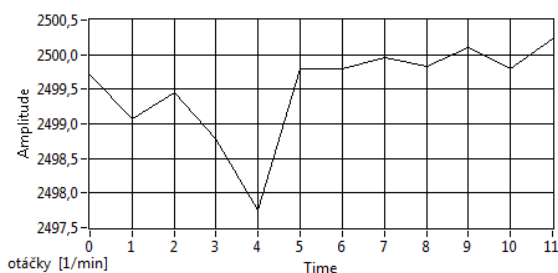
Otáčky 2500 ot/min



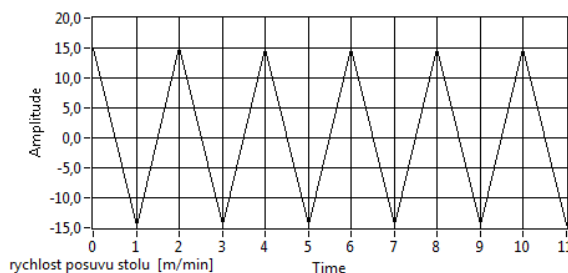
Obr.35.1 Radiální síla F_z [N]



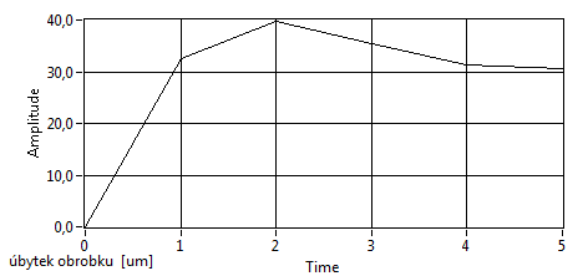
Obr.35.2 Posunovací síla F_y [N]



Obr.35.3 Otáčky kotouče [ot/min]



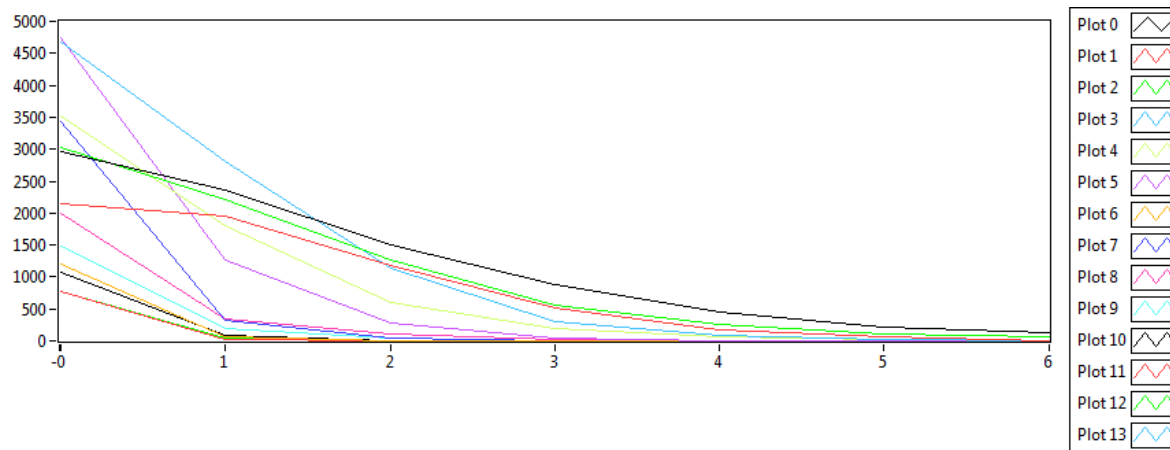
Obr.35.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



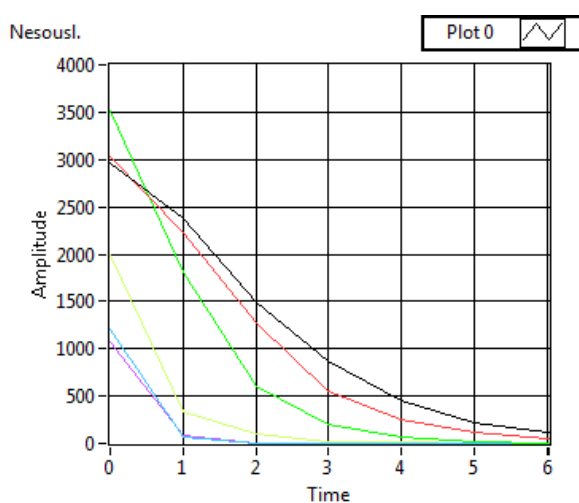
Obr.35.5 Úbytek obrobku [um]

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
				0,00
39,27	53,60	2500	15,08	
21,78	34,70	2499	-14,69	
				32,51
11,92	17,76	2499	15,30	
8,25	12,71	2499	-14,57	
				39,71
1,91	4,67	2498	15,01	
2,33	3,01	2500	-14,62	
				35,45
-0,44	0,44	2500	15,04	
0,04	0,75	2500	-14,63	
				31,29
-0,74	-0,12	2500	15,01	
-0,47	0,12	2500	-14,62	
				30,54
-0,76	0,13	2500	15,08	
-0,56	0,11	2500	-14,63	

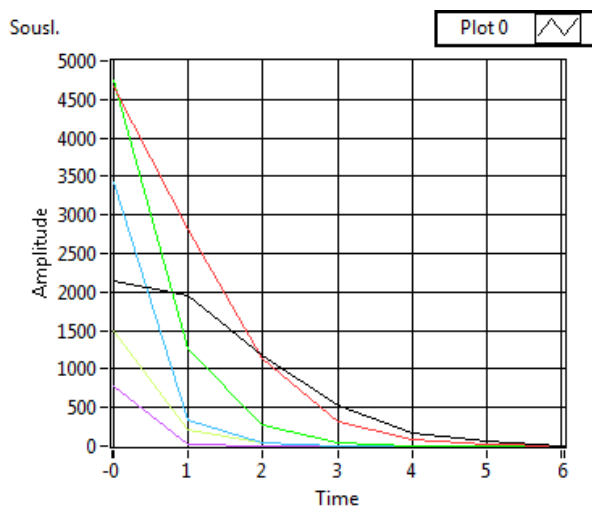
Obr.35.6 Tabulka dat



Obr.35.7 Zobrazení akustické emise



Obr.35.8 AE nesousledného pohybu

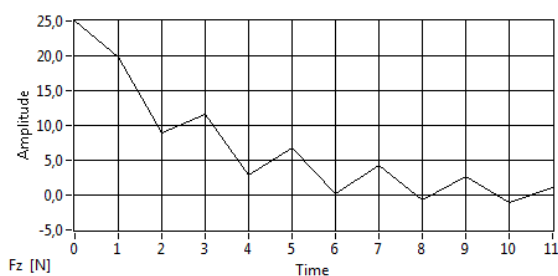
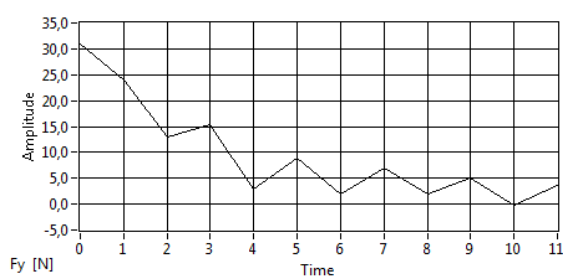


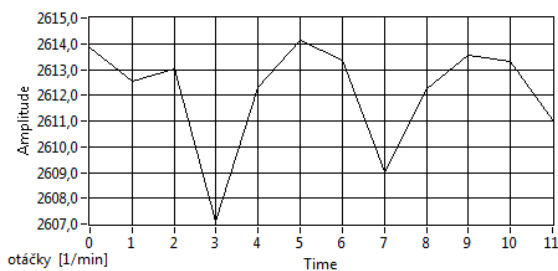
Obr.35.9 AE sousledného pohybu

Ocel 15260

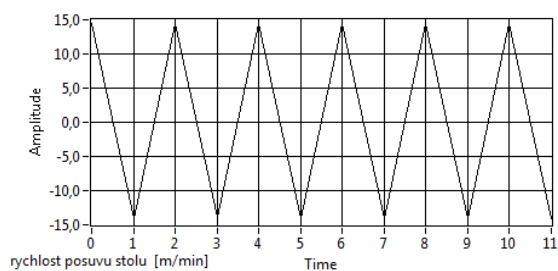
Záběr 0.02 mm

Otáčky 2500 ot/min

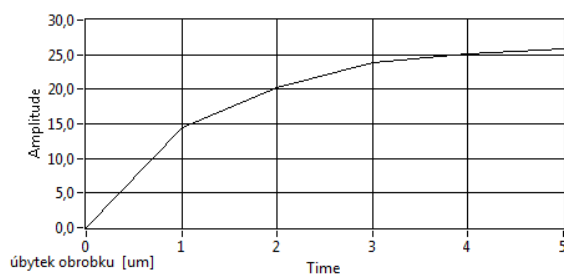
Obr.36.1 Radiální síla F_z [N]Obr.36.2 Posunovací síla F_y [N]



Obr.36.3 Otáčky kotouče [ot/min]



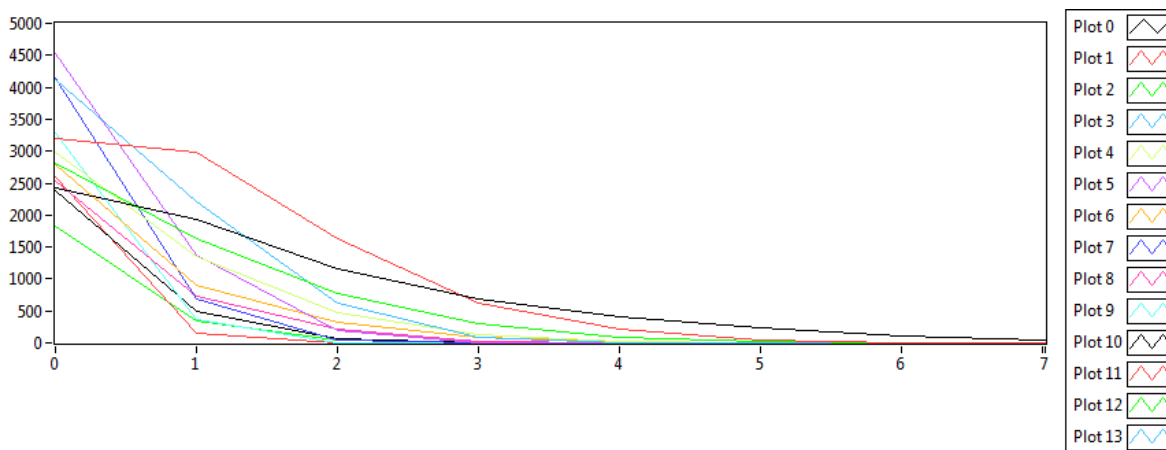
Obr.36.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



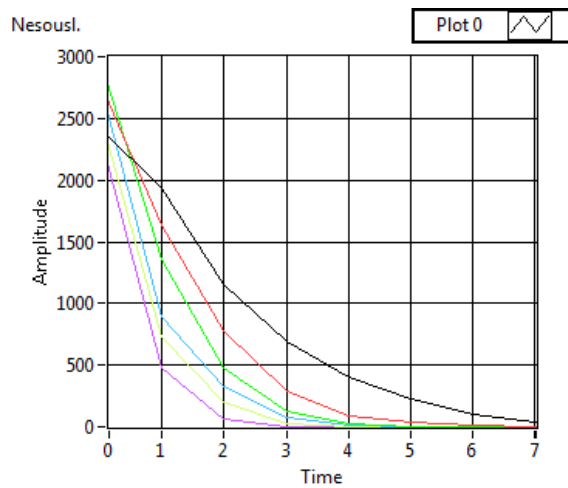
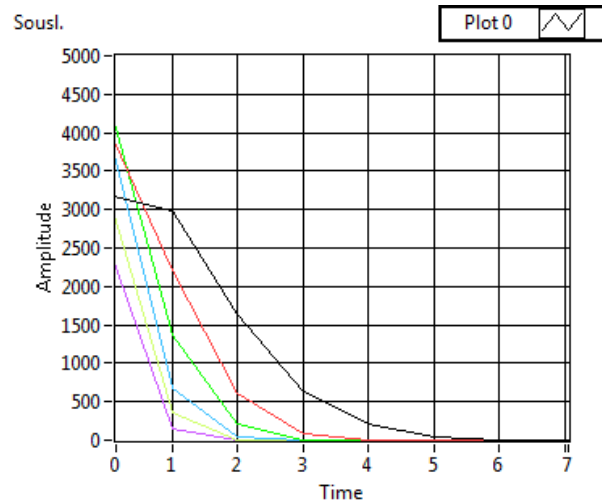
Obr.36.5 Úbytek obrobku [um]

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
24,93	30,99	2614	14,53	0,00
19,77	24,00	2613	-14,08	
				14,47
8,97	12,89	2613	14,48	
11,67	15,26	2607	-14,01	
				20,19
2,94	2,95	2612	14,48	
6,71	9,00	2614	-14,16	
				23,81
0,16	1,85	2613	14,47	
4,33	6,99	2609	-14,04	
				25,10
-0,64	1,93	2612	14,53	
2,63	5,08	2614	-14,08	
				25,87
-1,03	-0,13	2613	14,55	
1,05	3,73	2611	-14,09	

Obr.36.6 Tabulka dat



Obr.36.7 Zobrazení akustické emise

**Obr.36.8 AE nesousledného pohybu****Obr.36.9 AE sousledného pohybu**

4. Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval návrhem experimentálního měřicího a monitorovacího systému pro proces rovinného broušení kovů. Jednalo se o systém, který by monitoroval proces broušení, zobrazoval příslušnou informaci na monitor, vyhodnocoval nutné parametry a ukládal je do paměti. Výsledkem je použití monitorovacího systému při reálném procesu broušení na konkrétním obráběcím stroji. Všechny cíle byly v průběhu diplomové práce úspěšně splněny. V první řadě byla řešena problematika návrhu monitorovacího programu. V úvodu bylo vysvětleno, že se jedná o vytvoření vhodného programu pro zadaný úkol. Po prostudování dosavadních poznatků o procesu broušení se zaměřením na moderní metody měření veličin a parametrů procesu broušení, jsem začal tvořit vlastní program a model monitorovacího systému. Po prvních testech, které prokázaly, že vytvořený program funguje, jsem provedl měření za různých podmínek procesu broušení, abych se přesvědčil o jeho plné funkčnosti. Během vytváření modelu systému jsem řešil řadu problémů. Jedním z nich bylo působení magnetického pole magnetizace stolu na feromagnetické součástky upevňující obrobek, a tím vyvolané změny měřené radiální síly způsobené tímto polem. Po provedení analýzy jsem odstranil nezbytné součásti stroje, které uzavíraly magnetický obvod a tím jsem silové účinky magnetizace eliminoval.

Během měření úbytku obrobku jsem zjistil, že stůl obráběcího stole má odchylku od úrovně při pojezdu tam a zpět. Proto jsem musel upravit program, a pro určení úbytku použít průměrnou hodnotu z obou směrů pohybu.

Jeden z největších problémů nastal při měření teploty. Stůl se pohyboval poměrně vysokou rychlostí, což komplikovalo měření správných hodnot teplot obrobku. První návrh byl měřit teplotu obrobku pomocí termočlánku. Prvním problémem byla skutečnost, že teplo v obrobku se šíří nerovnoměrně. Dalším problémem bylo zpoždění reakce termočlánku vzhledem k teplotě. Nejlepším řešením se zdálo být umístění desky z kovu uprostřed obrobku, kde je teplota vyšší. Měření teploty přímo na desce by odpovídalo nejvíce skutečnosti. Další problém byl ale ve změně tvaru materiálu a použití jiného druhu kovu, což by na druhou stranu opět zkreslovalo skutečnou hodnotu. Nakonec bylo rozhodnuto měřením teploty obrobku při broušení z důvodu složitosti a malé důležitosti se nezabývat.

Periodicky bylo nutno orovnávat brousící kotouč. Při dlouhodobém používání kotouč měnil tvar povrchu a zanášel se materiálem obrobku, což mělo velký vliv na jakost obrábění a přesnost měření. Pro orovnění kotouče sloužil jednoduchý orovnávač s diamantovým nástrojem, který se upínal do upínače „T“ drážky stolu stroje, nebo pomocí elektromagnetické desky.

Pro zajištění přesnosti byla provedena tři experimentální měření s různou hloubkou

záběru pro různé druhy materiálů s různými mechanickými vlastnostmi. Byly vybrány materiály 12050, 14109, 15260 . Hloubka záběru byla nastavena 0,01 mm, 0,02 mm a 0,03 mm. Větší počet experimentů umožnil zajistit dostatečnou přesnost měření a umožnil porovnávat hodnoty měření při různých podmínkách a použití různých materiálů.

Měřením jsem ověřil, že navržený monitorovací systém funguje. Pro ověření byly vybrány různé materiály s různými vlastnostmi. Všechny naměřené veličiny byly uloženy a lze je dále použít pro další výzkum.

Z mého pohledu byla zajímavá především ta část diplomové práce, kde jsem se zabýval programováním monitorovacího systému. Při tvorbě programu bylo příjemné sledovat, že dříve vytvořený model úspěšně pracuje i za skutečných podmínek.

Seznam použité literatury

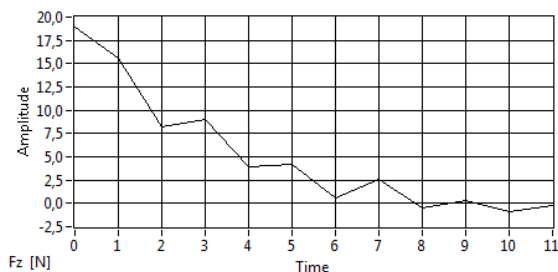
- [1] Dad'o, S., Kreidl, M.: Senzory a meric. obvody. CVUT, Praha, 1996
- [2] Vlach, J. a kol.: Začínáme s LabVIEW. BEN, Praha, 2008
- [3] Jan Žižka: Použití akustické emise ke sledování stavu řezného nástroje, Liberec, 2003
- [4] Erwin Junker Grinding Technology: Návod k obsluze
- [5] Manual installation for SB-4500 Model Balancer, [online],
URL: <http://www.schmitt-ind.com/>
- [6] Dokumentace programovacího prostředí LabView, [online], URL:
<http://www.ni.com/labview/>
- [7] Vasilko, K., Bokucava, G.: Brusenie kovových materiálov. Alfa, Bratislava, 1988
- [8] Ripka, P. a kol.: Senzory a prevodníky. Skripta CVUT, Praha, 2005
- [9] Akustická emise (AE), Dakel [online]. URL: <http://www.dakel.cz/>
- [10] Manual installation for Kistler_9265B, [online], URL: <http://www.kistler.com/>
- [11] Akustická emise podrobně, [online] URL: <http://www.preditest.cz/>
- [12] Odborný časopis pro automatizaci, měření a inženýrskou informatiku „Automatizace“
[online], URL: <http://www.automatizace.cz/>
- URL: <http://www.vutbr.cz/cvis/software/vypocetni-programy/>
- [13] Prof.Ing. Jan Mádl,CSc., Doc.Ing. Jindřich Kafka, CSc.: Technologie obrábění 3.díl.
CVUT, Praha, 2000
- [14] Indukční snímače [online] URL: <http://www.balluff.cz/>

Příloha A - Výsledky obrábění kovů 12050

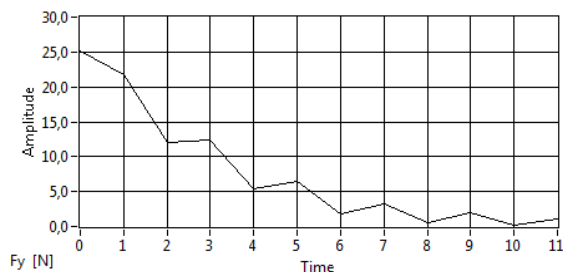
Ocel 12050

Záběr 0.01 mm

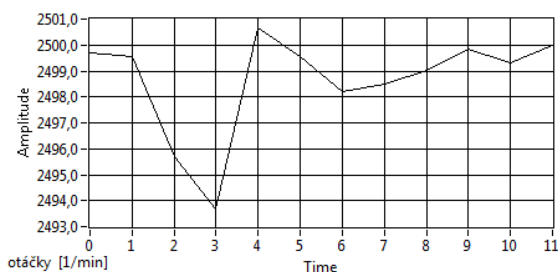
Otáčky 2500 ot/min



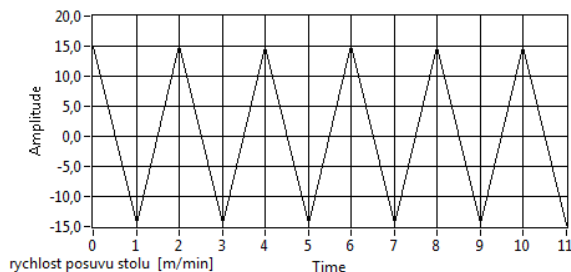
Obr.37.1 Radiální síla F_z [N]



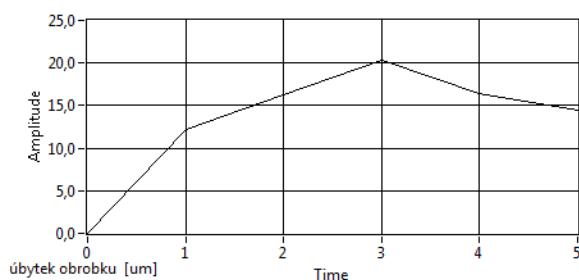
Obr.37.2 Posunovací síla F_y [N]



Obr.37.3 Otáčky kotouče [ot/min]



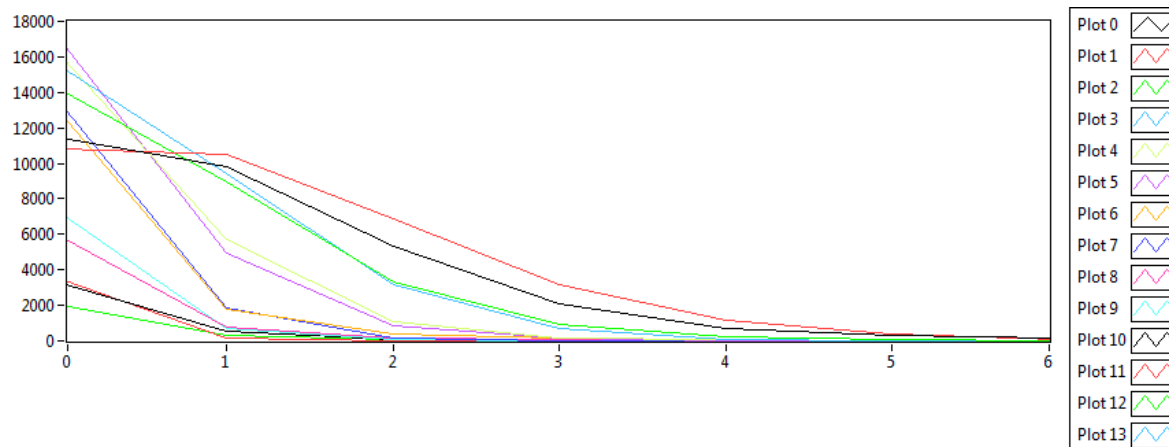
Obr.37.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



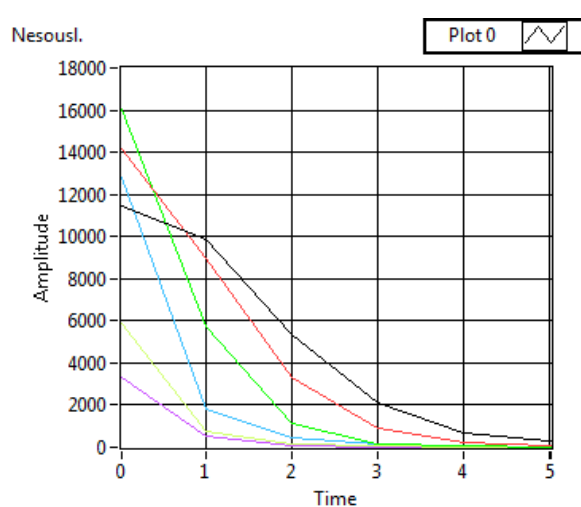
Obr.37.5 Úbytek obrobku [um]

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
18,89	25,09	2500	15,03	0,00
15,56	21,78	2500	-14,54	
8,25	12,12	2496	15,29	12,22
9,06	12,35	2494	-14,57	
3,89	5,44	2501	15,07	16,30
4,24	6,47	2500	-14,53	
0,57	1,71	2498	15,11	20,28
2,60	3,15	2498	-14,53	
-0,50	0,53	2499	14,96	16,46
0,37	2,01	2500	-14,57	
-0,89	0,25	2499	15,04	14,44
-0,28	1,10	2500	-14,75	

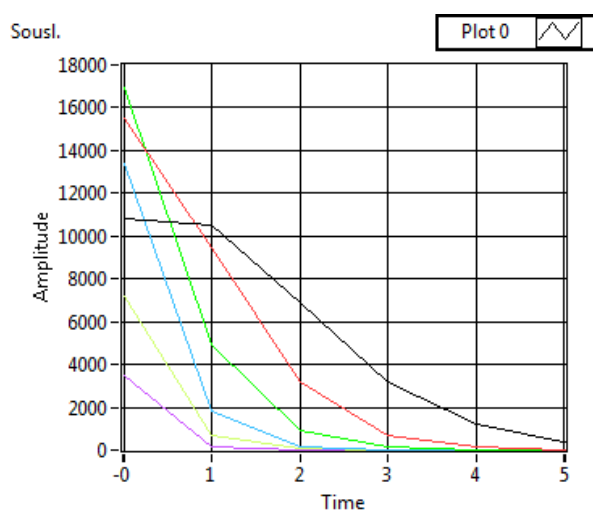
Obr.37.6 Tabulka dat



Obr.37.7 Zobrazení akustické emise



Obr.37.8 AE nesousledného pohybu

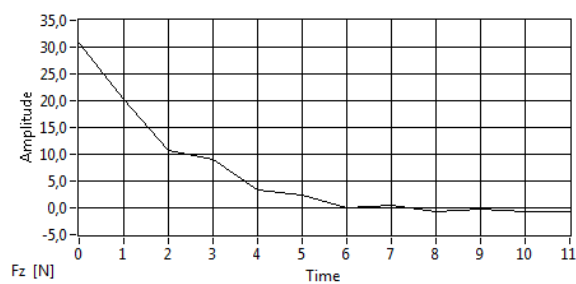
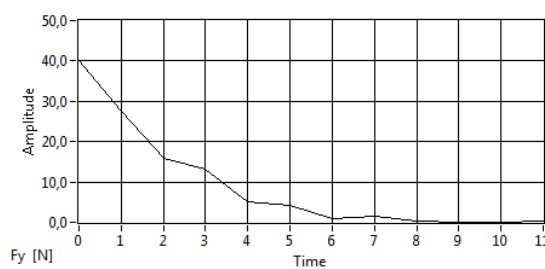


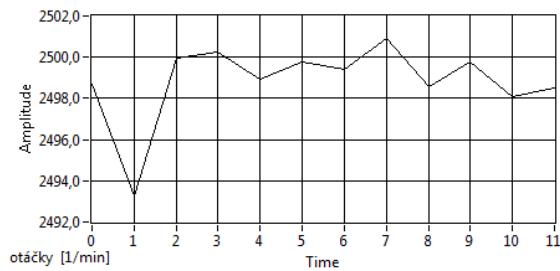
Obr.37.9 AE sousledného pohybu

Ocel 12050

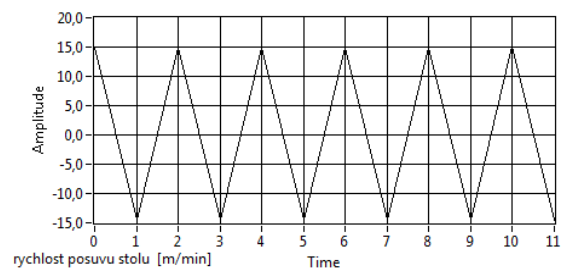
Záběr 0.02 mm

Otáčky 2500 ot/min

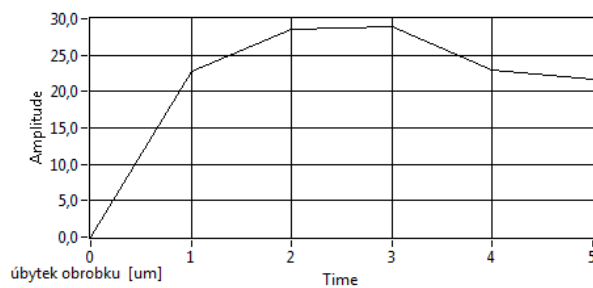
Obr.38.1 Radiální síla F_z [N]Obr.38.2 Posunovací síla F_y [N]



Obr.38.3 Otáčky kotouče [ot/min]



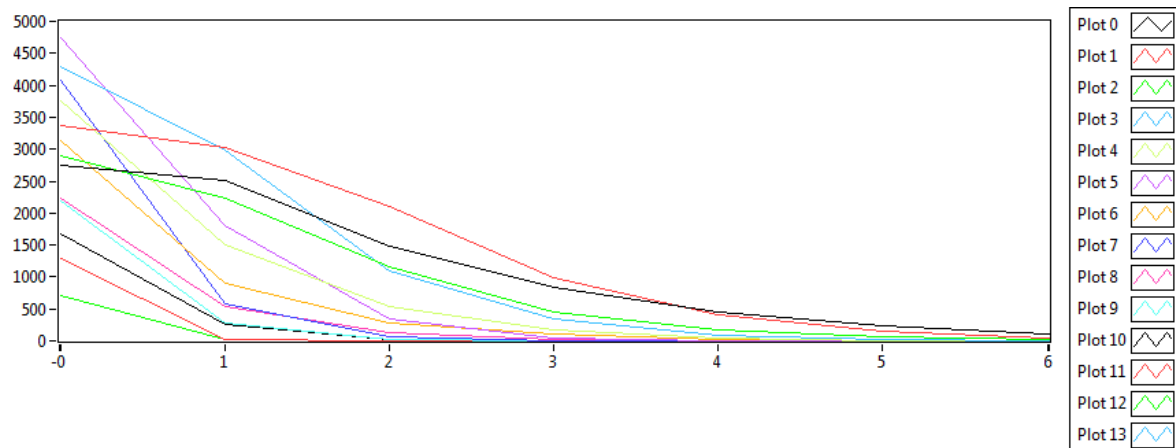
Obr.38.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



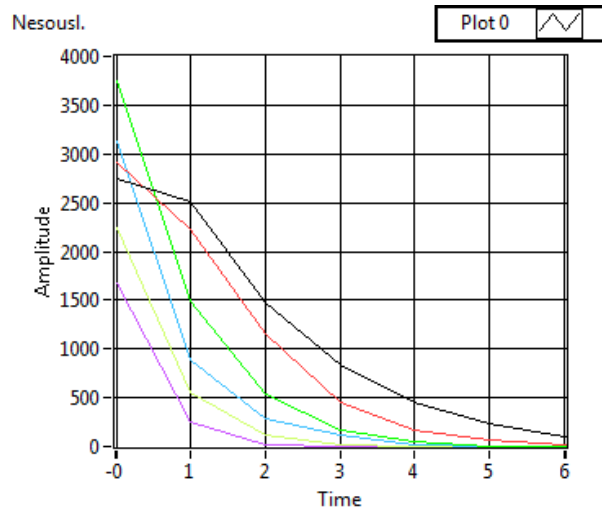
Obr.38.5 Úbytek obrobku [um]

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
30,63	40,14	2499	14,97	0,00
20,34	27,65	2493	-14,54	
10,70	15,99	2500	14,98	22,83
9,13	13,19	2500	-14,52	
3,33	5,08	2499	15,08	28,62
2,43	4,28	2500	-14,52	
-0,11	0,98	2499	15,03	28,89
0,51	1,41	2501	-14,56	
-0,74	0,18	2499	14,94	22,90
-0,33	0,15	2500	-14,59	
-0,80	0,01	2498	15,13	21,60
-0,64	0,29	2498	-14,59	

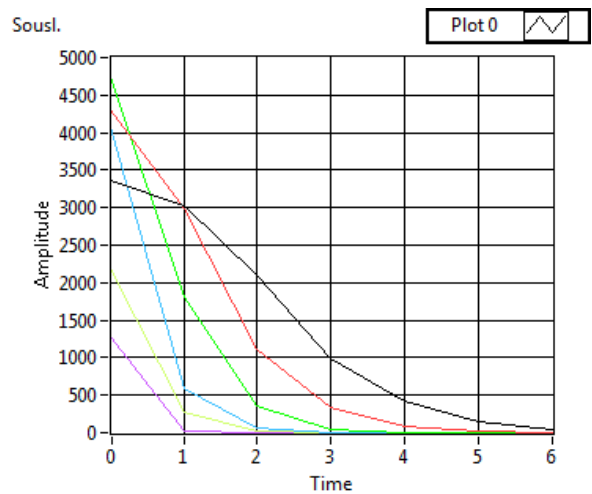
Obr.38.6 Tabulka dat



Obr.38.7 Zobrazení akustické emise



Obr.38.8 AE nesousledného pohybu

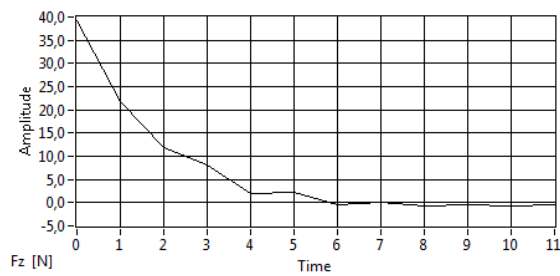
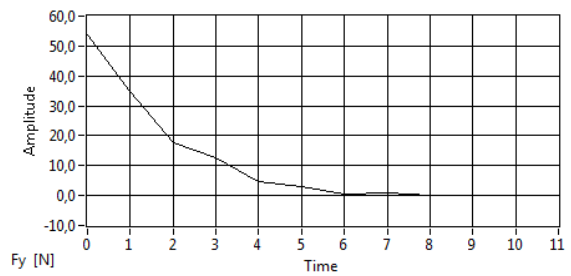
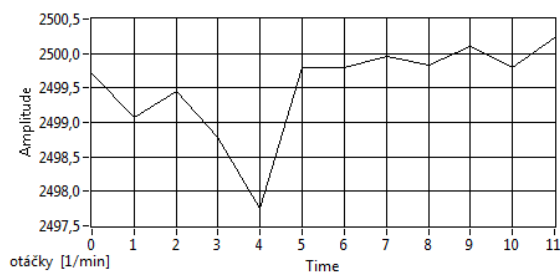


Obr.38.9 AE sousledného pohybu

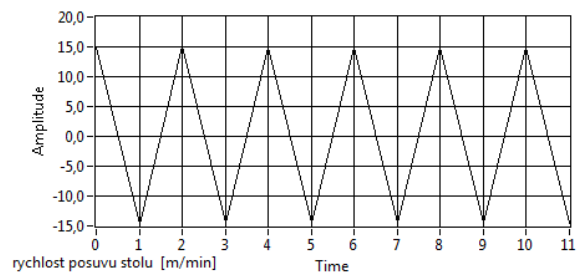
Ocel 12050

Záběr 0.02 mm

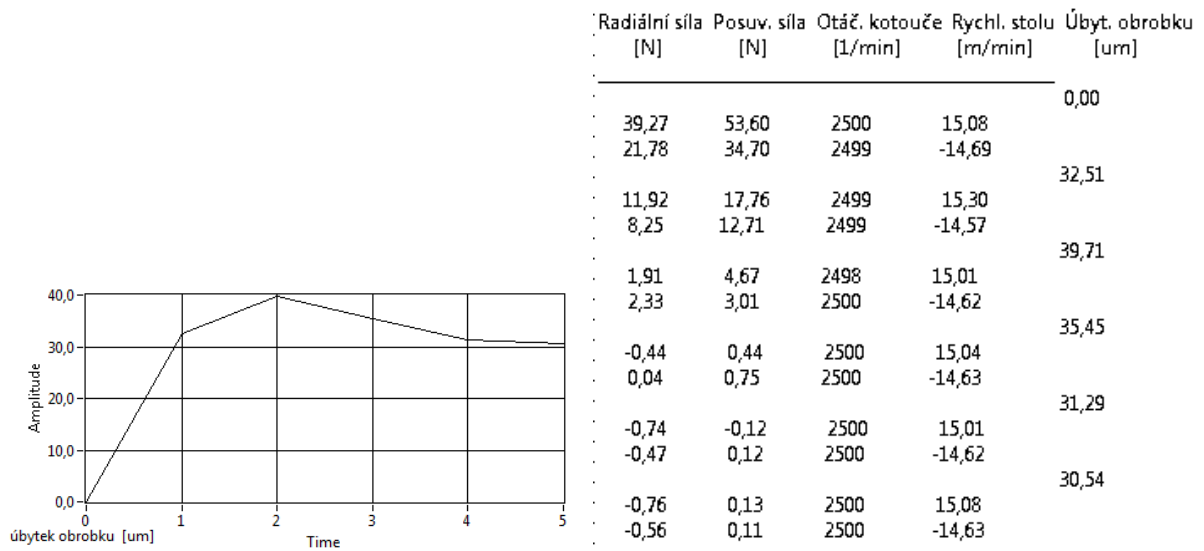
Otáčky 2500 ot/min

Obr.39.1 Radiální síla F_z [N]Obr.39.2 Posunovací síla F_y [N]

Obr.39.3 Otáčky kotouče [ot/min]

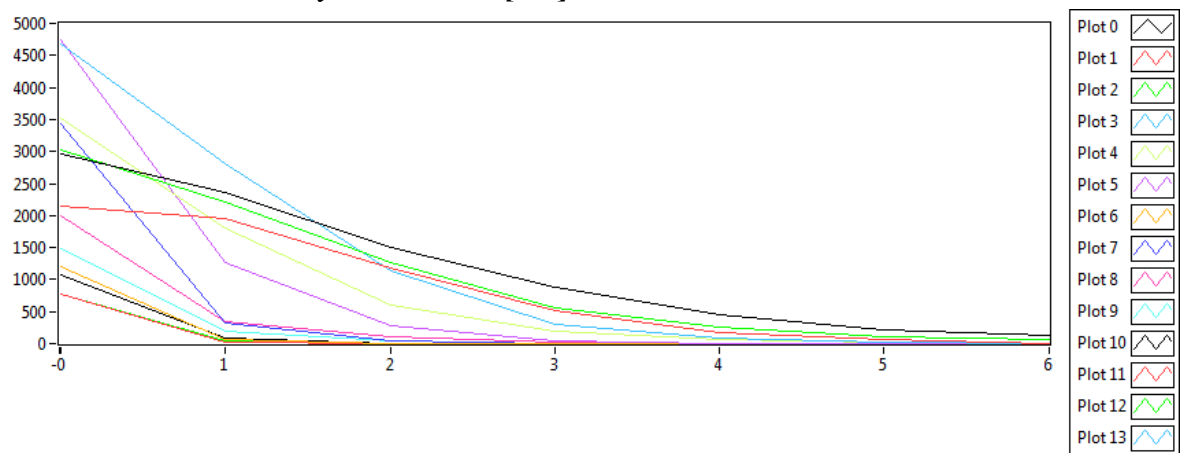


Obr.39.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]

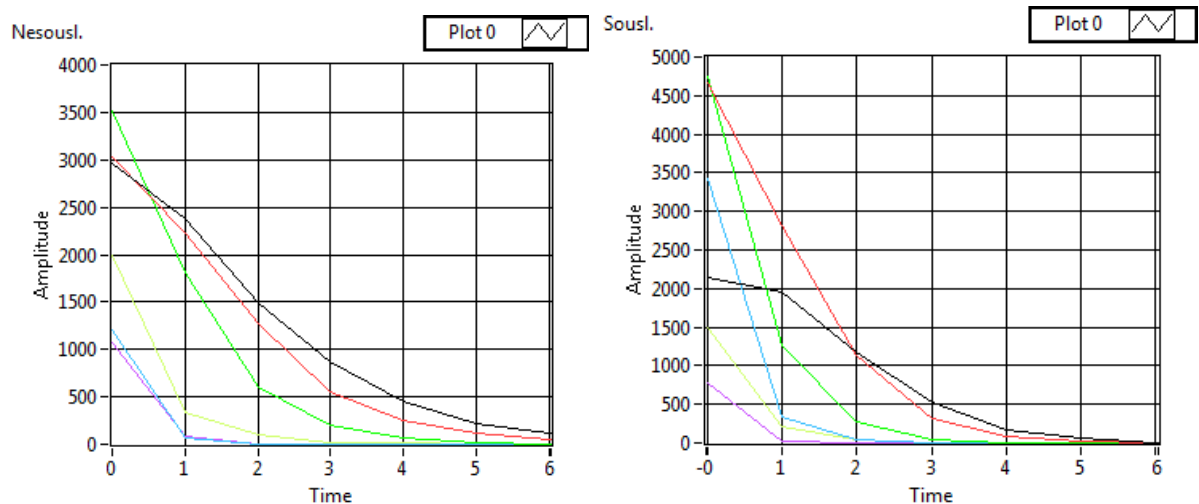


Obr.39.5 Úbytek obrobku [um]

Obr.39.6 Tabulka dat



Obr.39.7 Zobrazení akustické emise



Obr.39.8 AE nesousledného pohybu

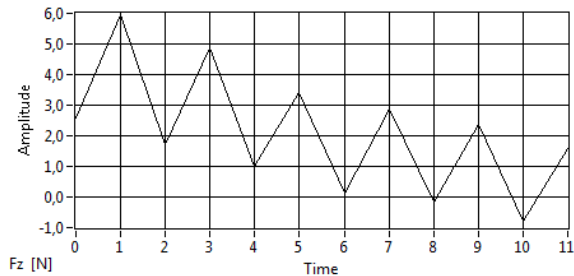
Obr.39.9 AE sousledného pohybu

Příloha B - Výsledky obrábění kovů 14109

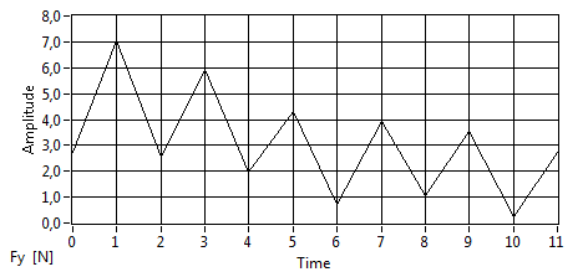
Ocel 14109

Záběr 0.01 mm

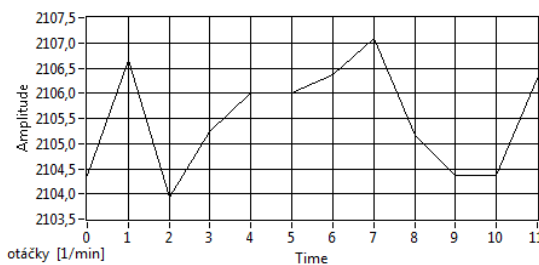
Otáčky 2000 ot/min



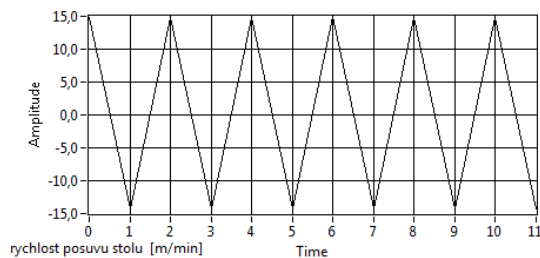
Obr.40.1 Radiální síla F_z [N]



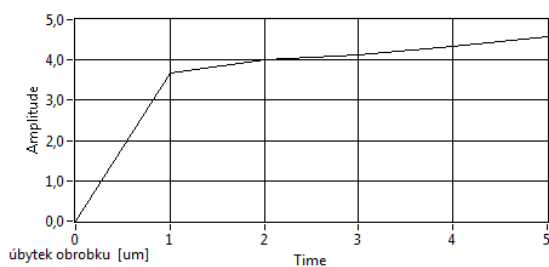
Obr.40.2 Posunovací síla F_y [N]



Obr.40.3 Otáčky kotouče [ot/min]



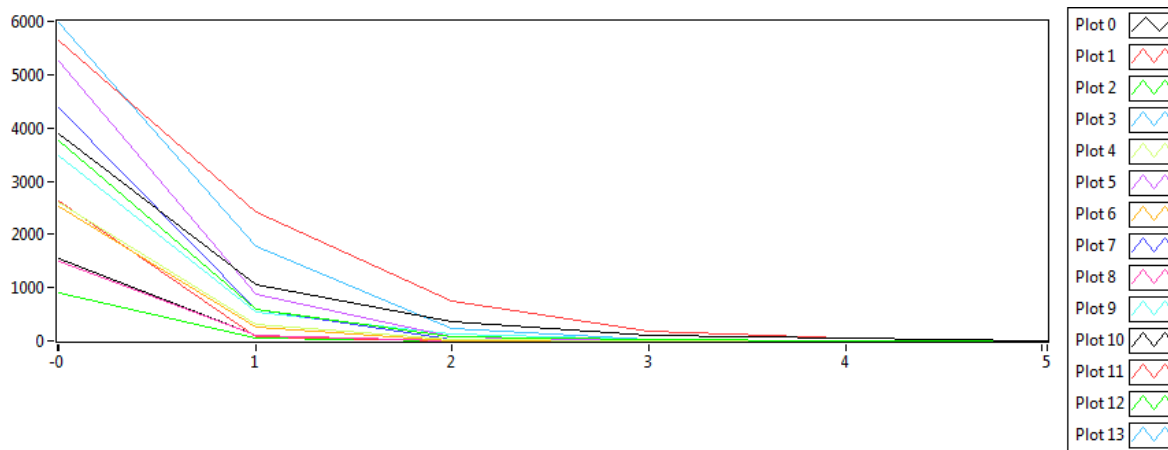
Obr.40.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



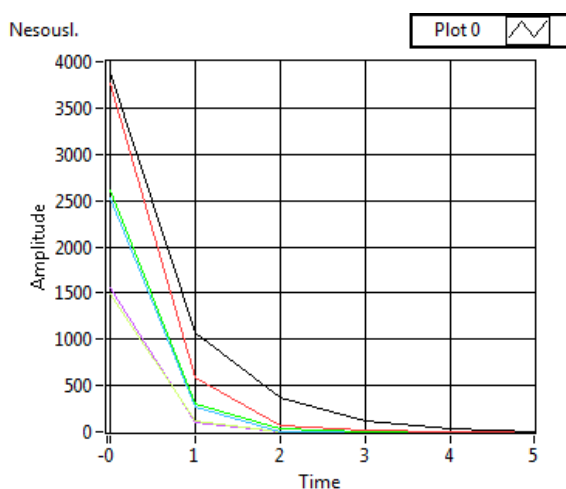
Obr.40.5 Úbytek obrobku [um]

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
2,59	2,75	2104	14,87	0,00
5,95	7,05	2107	-14,36	
1,70	2,55	2104	14,76	3,67
4,89	5,96	2105	-14,32	
0,99	1,94	2106	14,83	4,02
3,40	4,33	2106	-14,32	
0,13	0,70	2106	14,94	4,13
2,89	3,92	2107	-14,31	
-0,16	1,07	2105	14,88	4,35
2,39	3,55	2104	-14,28	
-0,78	0,23	2104	14,89	4,59
1,58	2,73	2106	-14,26	

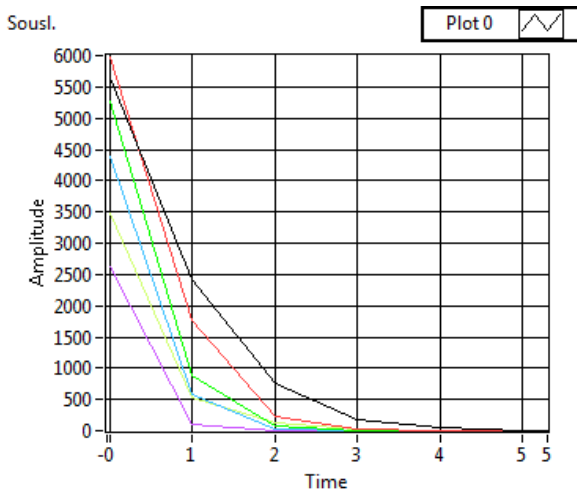
Obr.40.6 Tabulka dat



Obr.40.7 Zobrazení akustické emise



Obr.40.8 AE nesousledného pohybu

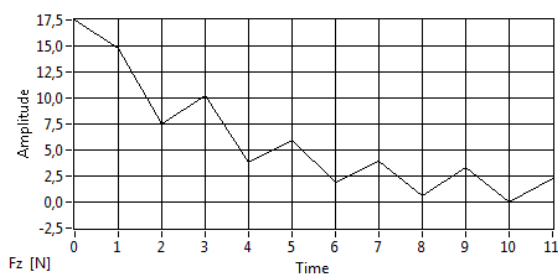
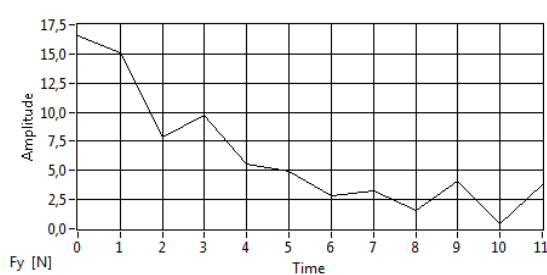
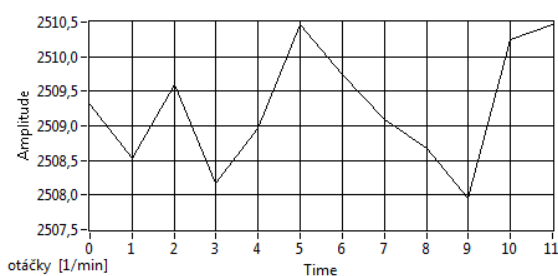


Obr.40.9 AE sousledného pohybu

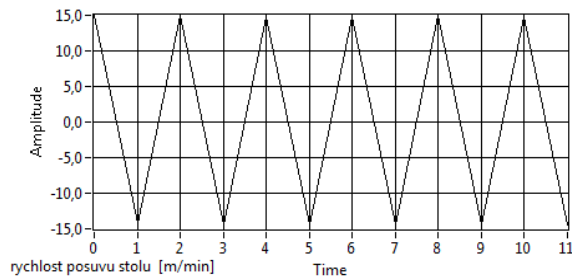
Ocel 14109

Záběr 0.01 mm

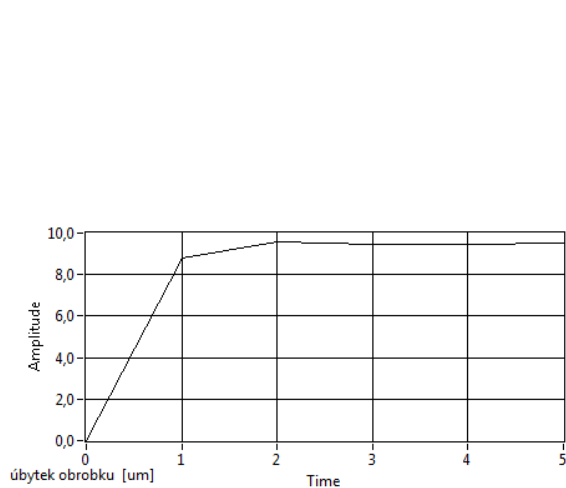
Otáčky 2500 ot/min

Obr.41.1 Radiální síla F_z [N]Obr.41.2 Posunovací síla F_y [N]

Obr.41.3 Otáčky kotouče [ot/min]



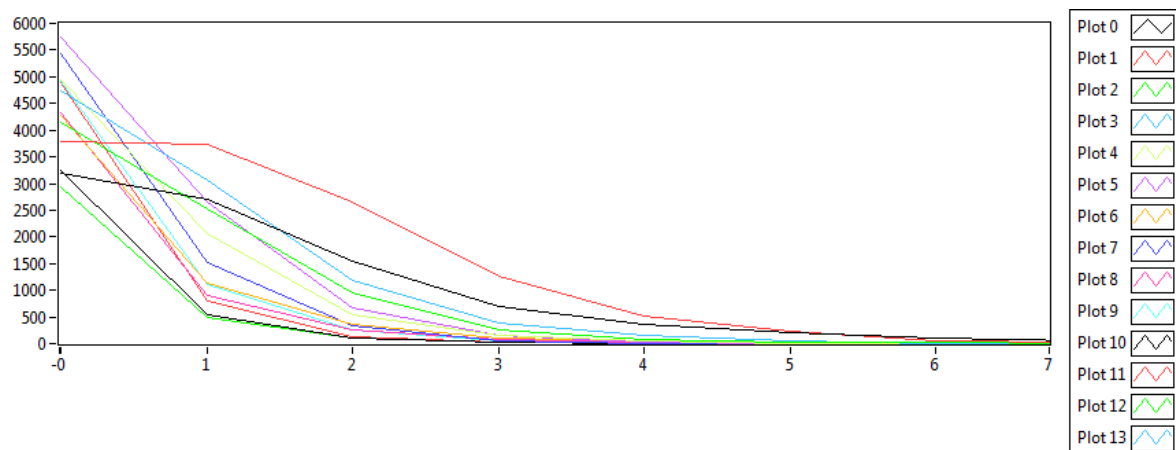
Obr.41.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



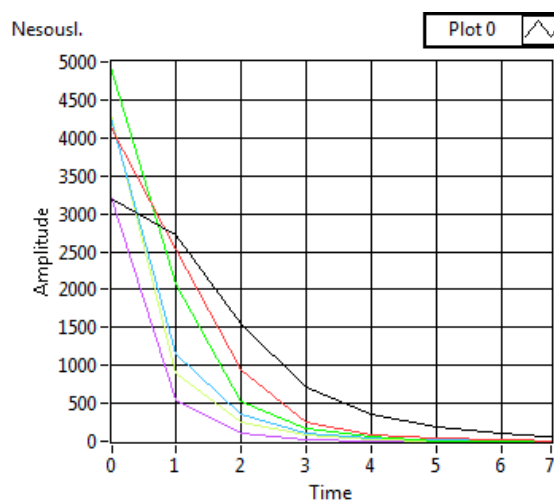
Obr.41.5 Úbytek obrobku [um]

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
17,45	16,57	2509	14,93	0,00
14,78	15,06	2509	-14,37	
7,48	7,82	2510	14,93	8,81
10,30	9,75	2508	-14,38	
3,85	5,56	2509	14,91	9,61
5,98	4,95	2510	-14,51	
1,86	2,87	2510	14,89	9,45
3,95	3,26	2509	-14,53	
0,57	1,55	2509	14,93	9,47
3,38	4,08	2508	-14,48	
-0,04	0,41	2510	14,87	9,53
2,31	3,82	2510	-14,48	

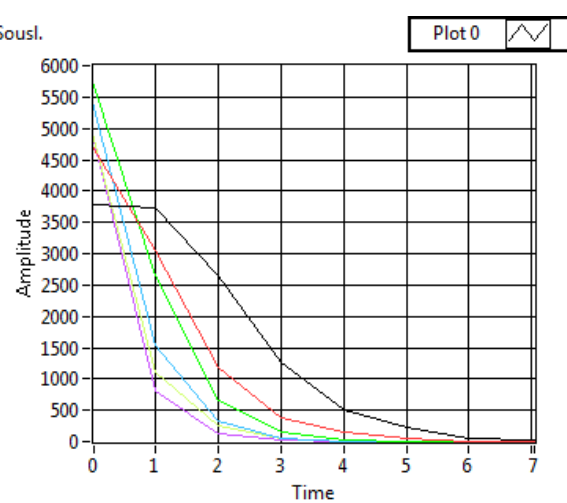
Obr.41.6 Tabulka dat



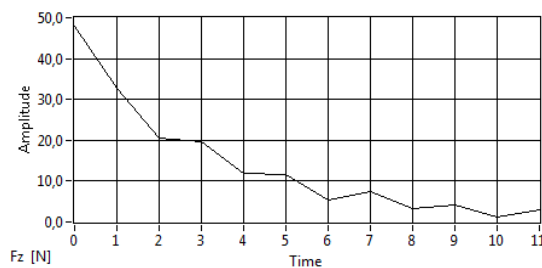
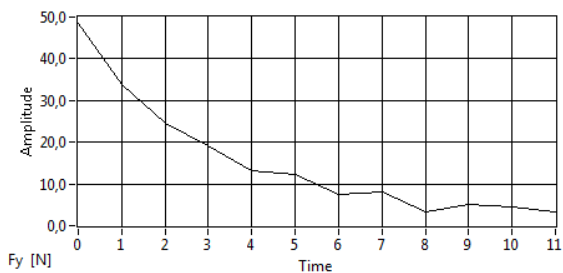
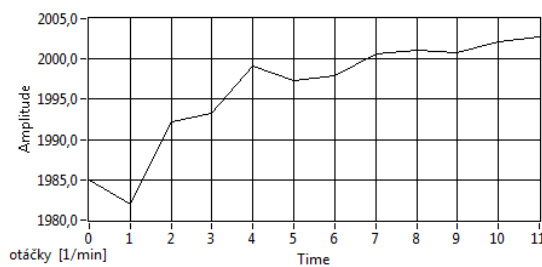
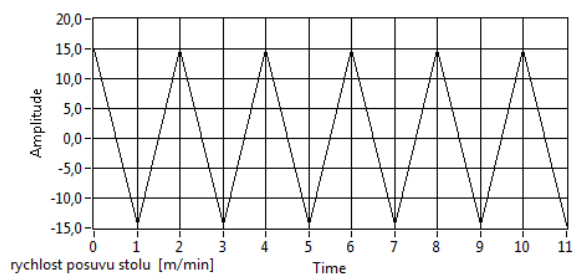
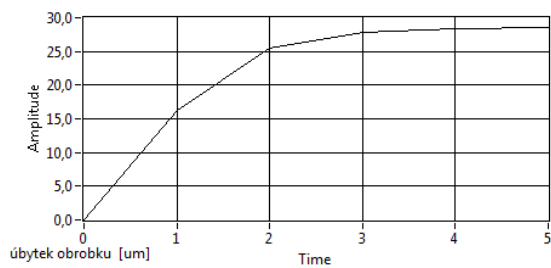
Obr.41.7 Zobrazení akustické emise



Obr.41.8 AE nesousledného pohybu

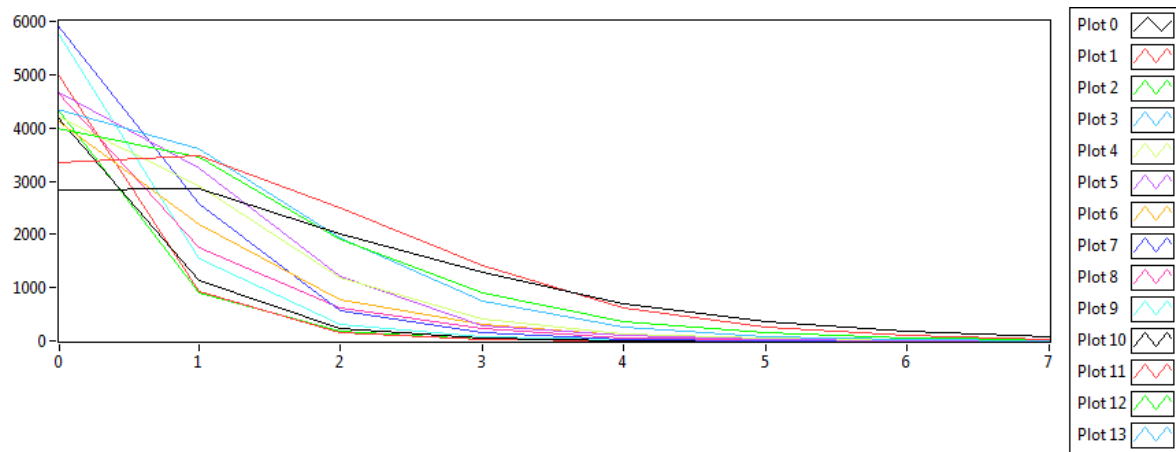


Obr.41.9 AE sousledného pohybu

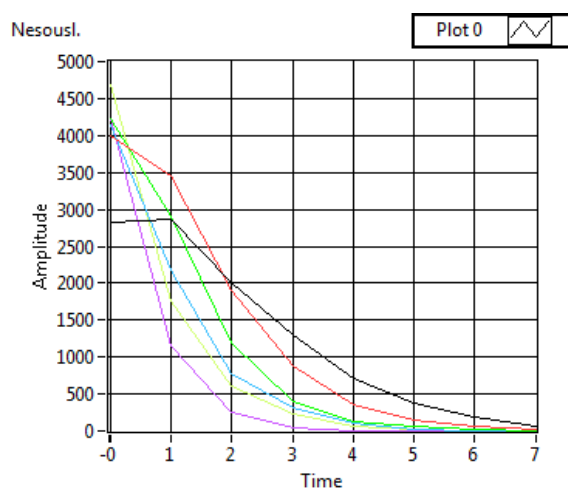
Ocel 14109**Záběr 0.03 mm****Otáčky 2000 ot/min****Obr.42.1 Radiální síla F_z [N]****Obr.42.2 Posunovací síla F_y [N]****Obr.42.3 Otáčky kotouče [ot/min]****Obr.42.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]****Obr.42.5 Úbytek obrobku [um]**

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
				0,00
47,86	48,53	1985	14,97	
32,77	33,81	1982	-14,56	
				16,27
20,52	24,67	1992	15,01	
19,50	19,14	1993	-14,57	
				25,57
11,81	13,17	1999	15,09	
11,74	12,23	1997	-14,56	
				27,87
5,23	7,63	1998	15,00	
7,48	8,15	2001	-14,53	
				28,32
3,34	3,20	2001	15,04	
4,29	5,24	2001	-14,53	
				28,50
1,31	4,49	2002	14,96	
3,04	3,14	2003	-14,52	

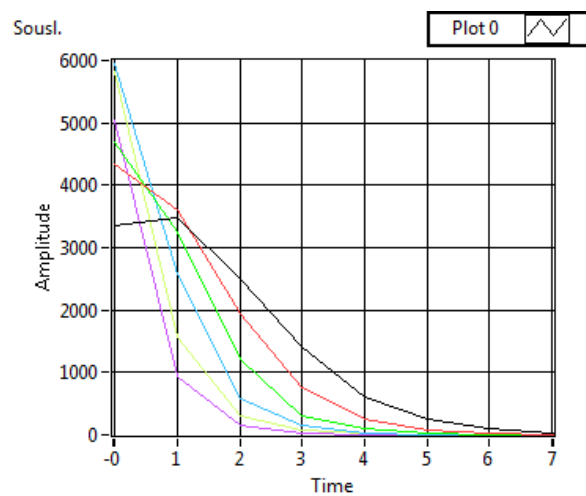
Obr.42.6 Tabulka dat



Obr.42.7 Zobrazení akustické emise

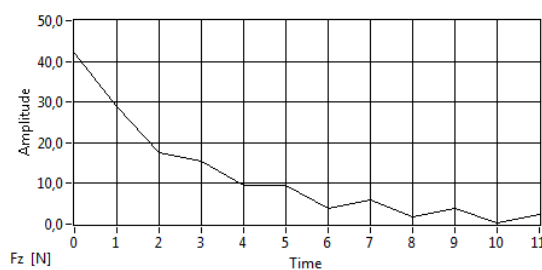
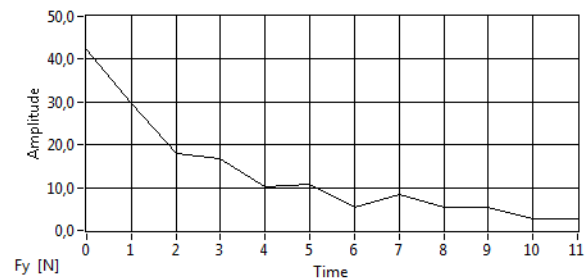


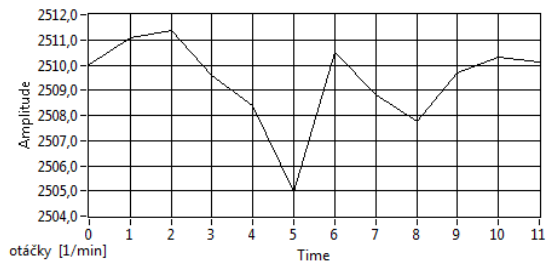
Obr.42.8 AE nesousledného pohybu



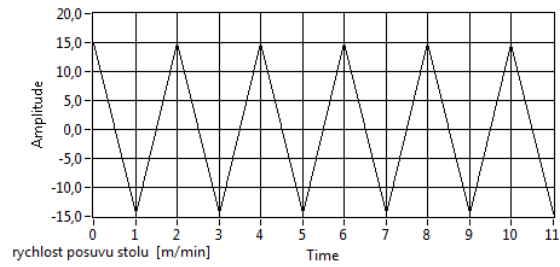
Obr.42.9 AE sousledného pohybu

Ocel 14109
Záběr 0.03 mm
Otáčky 2500 ot/min

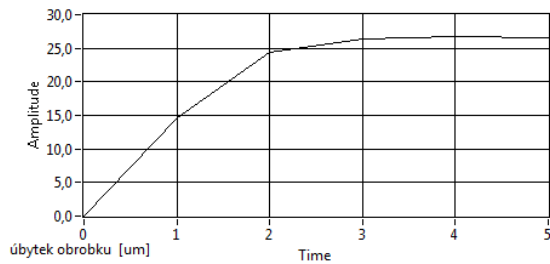
Obr.43.1 Radiální síla F_z [N]Obr.43.2 Posunovací síla F_y [N]



Obr.43.3 Otáčky kotouče [ot/min]



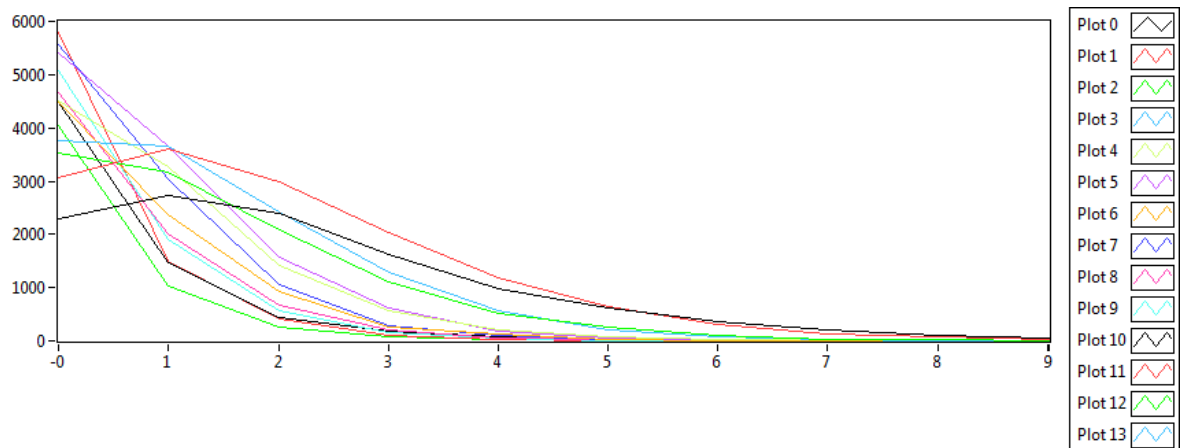
Obr.43.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



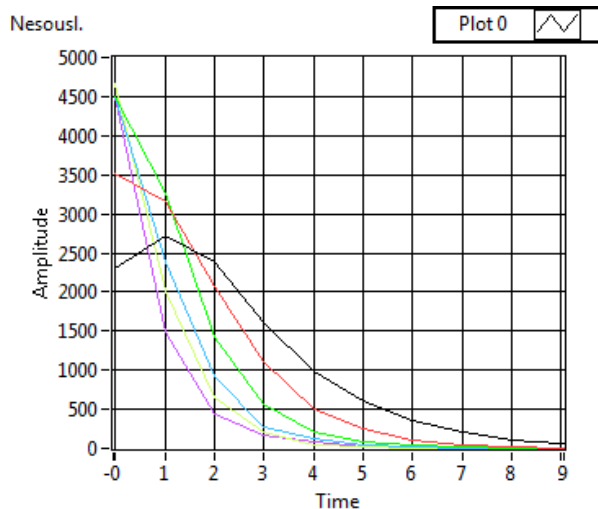
Obr.43.5 Úbytek obrobku [um]

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
42,03	42,25	2510	15,00	0,00
28,76	29,66	2511	-14,57	14,62
17,51	17,90	2511	15,03	24,41
15,62	16,70	2510	-14,57	26,43
9,52	10,04	2508	14,95	26,66
9,59	10,66	2505	-14,55	26,55
3,91	5,50	2511	14,93	
5,89	8,25	2509	-14,55	
1,86	5,42	2508	15,04	
3,88	5,37	2510	-14,53	
0,17	2,57	2510	14,89	
2,24	2,81	2510	-14,58	

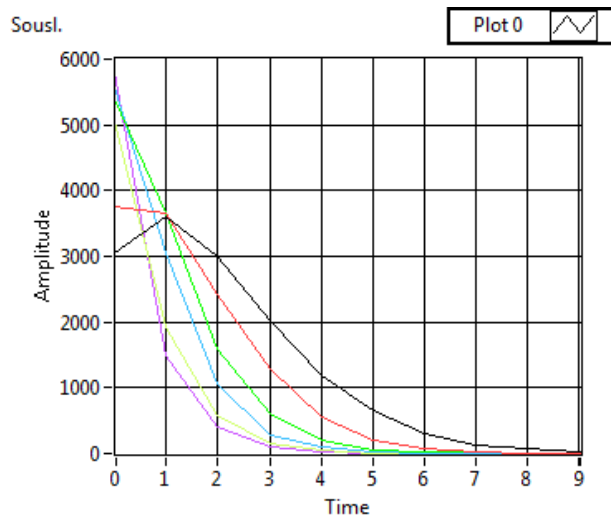
Obr.43.6 Tabulka dat



Obr.43.7 Zobrazení akustické emise



Obr.43.8 AE nesousledného pohybu



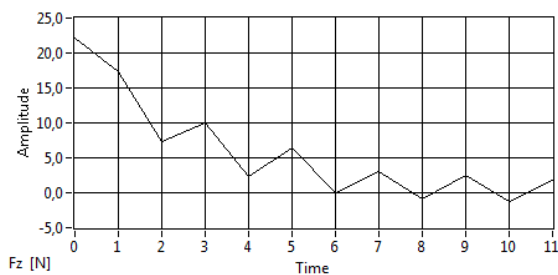
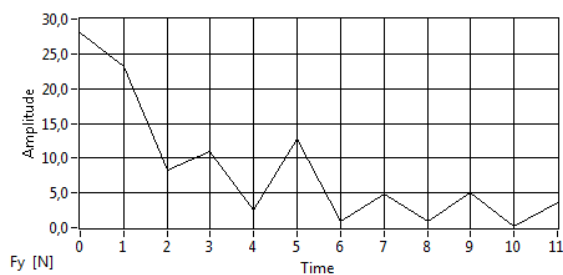
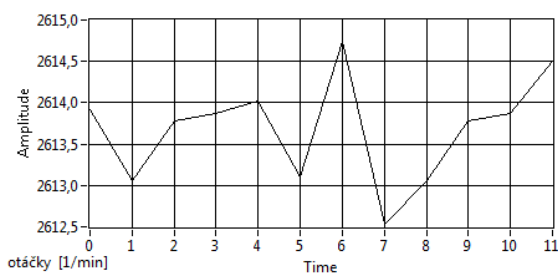
Obr.43.9 AE sousledného pohybu

Příloha C - Výsledky obrábění kovů 15260

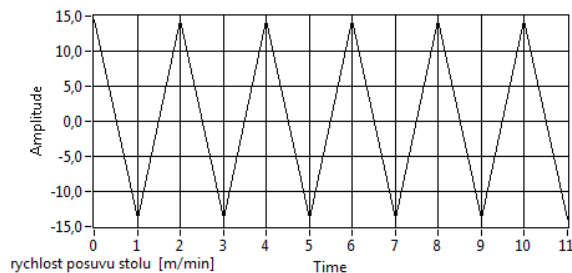
Ocel 15260

Záběr 0.01 mm

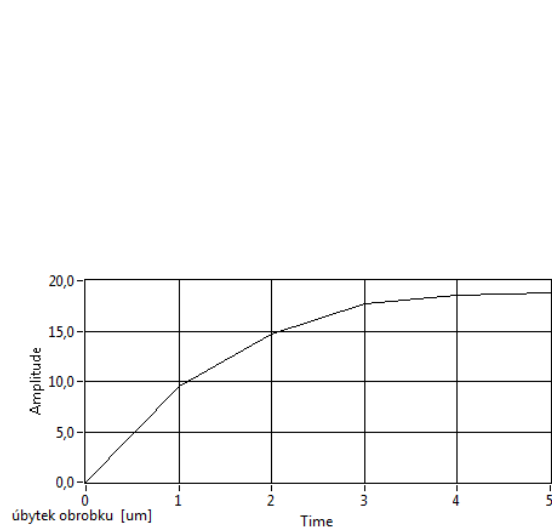
Otáčky 2500

Obr.44.1 Radiální síla F_z [N]Obr.44.2 Posunovací síla F_y [N]

Obr.44.3 Otáčky kotouče [ot/min]



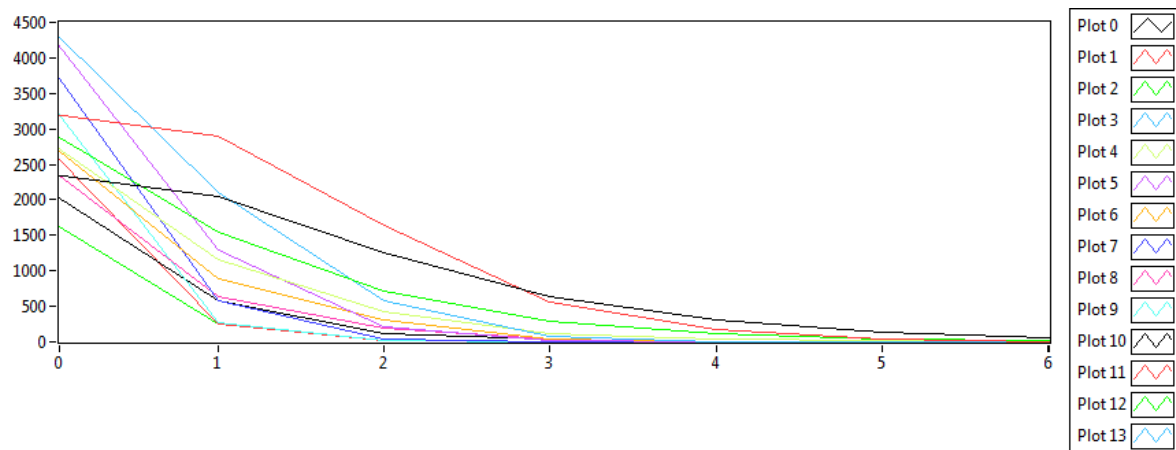
Obr.44.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



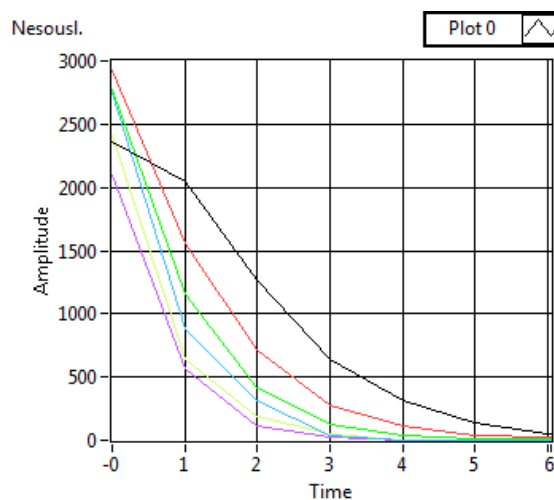
Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
22,14	28,11	2614	14,46	0,00
17,41	23,18	2613	-14,00	
7,35	8,35	2614	14,43	9,54
10,04	11,02	2614	-13,93	
2,34	2,44	2614	14,46	14,66
6,38	12,71	2613	-13,98	
0,02	0,87	2615	14,48	17,66
3,09	4,86	2613	-13,96	
-0,93	0,86	2613	14,49	18,53
2,58	4,99	2614	-14,01	
-1,24	0,16	2614	14,43	18,84
1,77	3,58	2614	-13,96	

Obr.44.5 Úbytek obrobku [um]

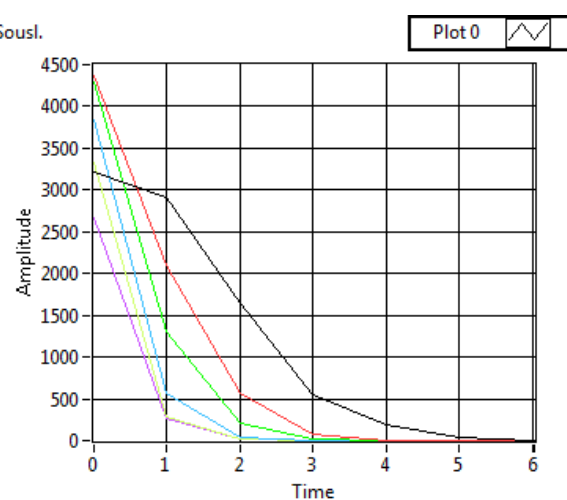
Obr.44.6 Tabulka dat



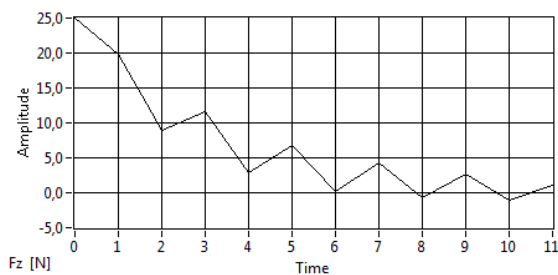
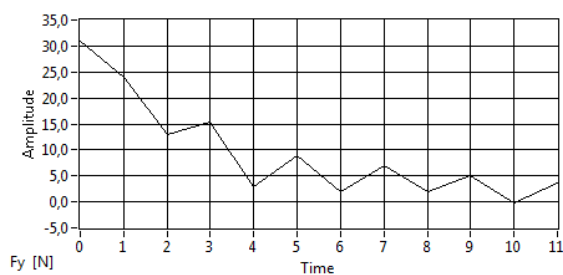
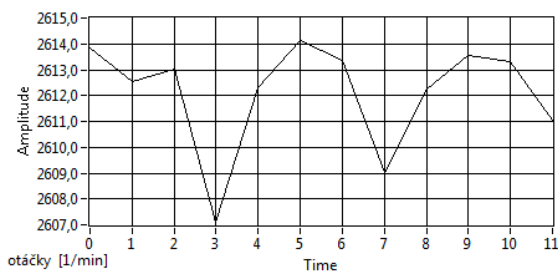
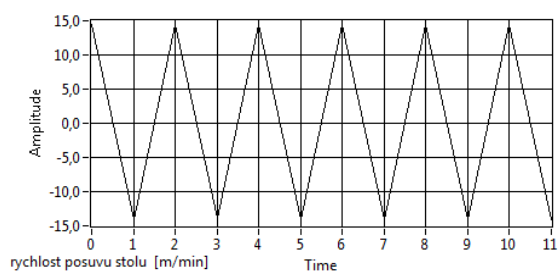
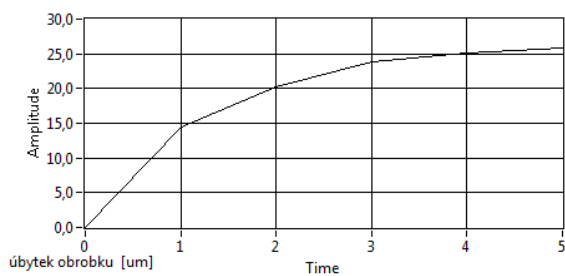
Obr.44.7 Zobrazení akustické emise



Obr.44.8 AE nesousledného pohybu

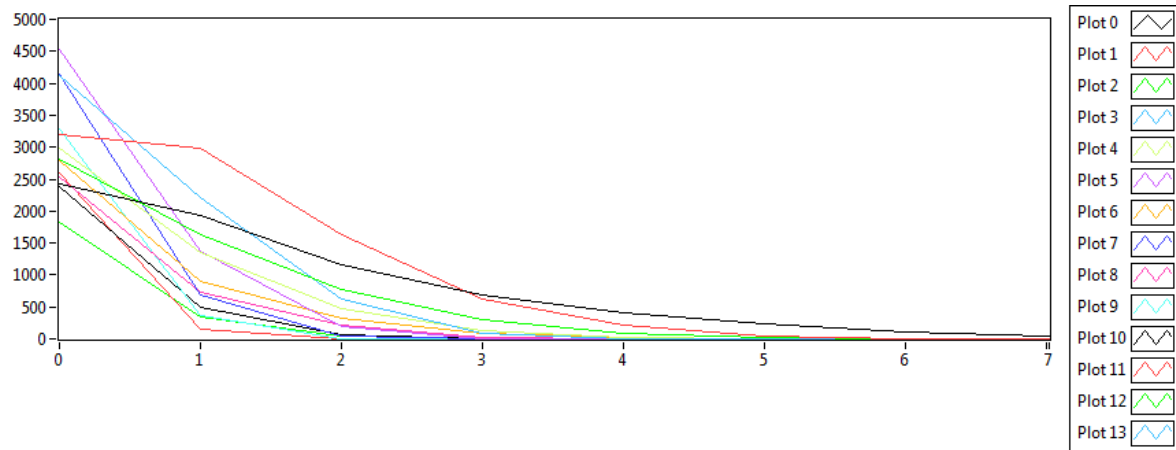


Obr.44.9 AE sousledného pohybu

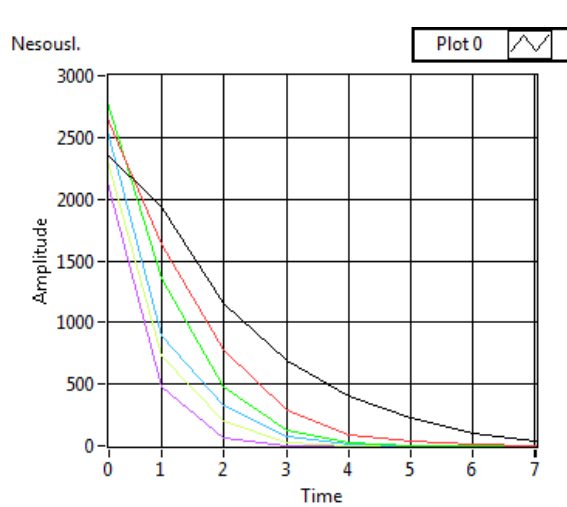
Ocel 15260**Záběr 0.02 mm****Otáčky 2500 ot/min****Obr.45.1 Radiální síla F_z [N]****Obr.45.2 Posunovací síla F_y [N]****Obr.45.3 Otáčky kotouče [ot/min]****Obr.45.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]****Obr.45.5 Úbytek obrobku [μm]**

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
24,93	30,99	2614	14,53	0,00
19,77	24,00	2613	-14,08	14,47
8,97	12,89	2613	14,48	20,19
11,67	15,26	2607	-14,01	23,81
2,94	2,95	2612	14,48	25,10
6,71	9,00	2614	-14,16	25,87
0,16	1,85	2613	14,47	
4,33	6,99	2609	-14,04	
-0,64	1,93	2612	14,53	
2,63	5,08	2614	-14,08	
-1,03	-0,13	2613	14,55	
1,05	3,73	2611	-14,09	

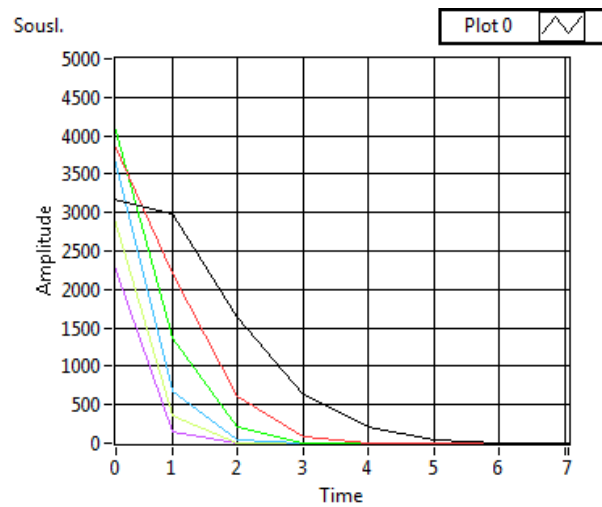
Obr.45.6 Tabulka dat



Obr.45.7 Zobrazení akustické emise



Obr.45.8 AE nesousledného pohybu

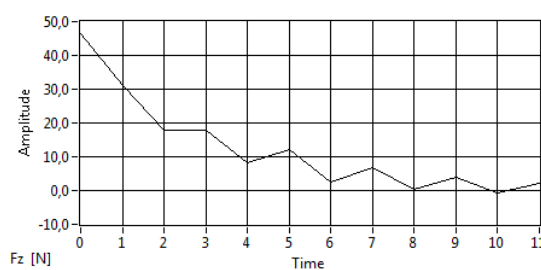
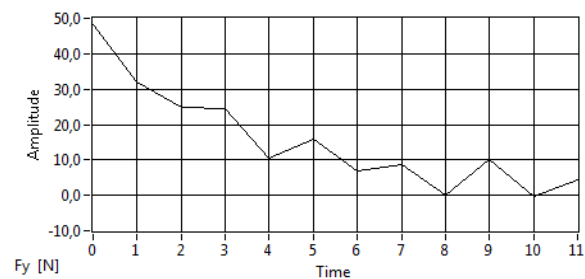


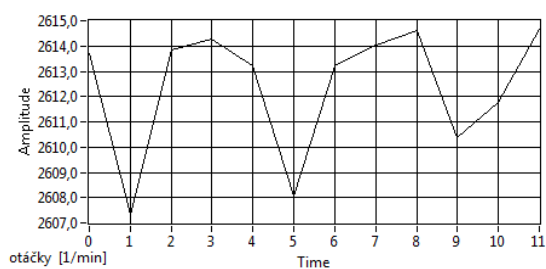
Obr.45.9 AE sousledného pohybu

Ocel 15260

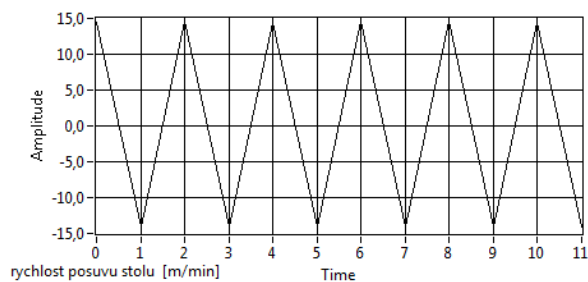
Záběr 0.03 mm

Otáčky 2500 ot/min

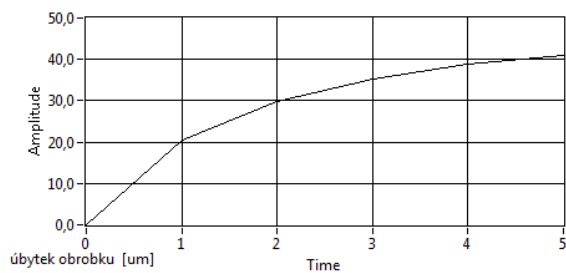
Obr.46.1 Radiální síla F_z [N]Obr.46.2 Posunovací síla F_y [N]



Obr.46.3 Otáčky kotouče [ot/min]



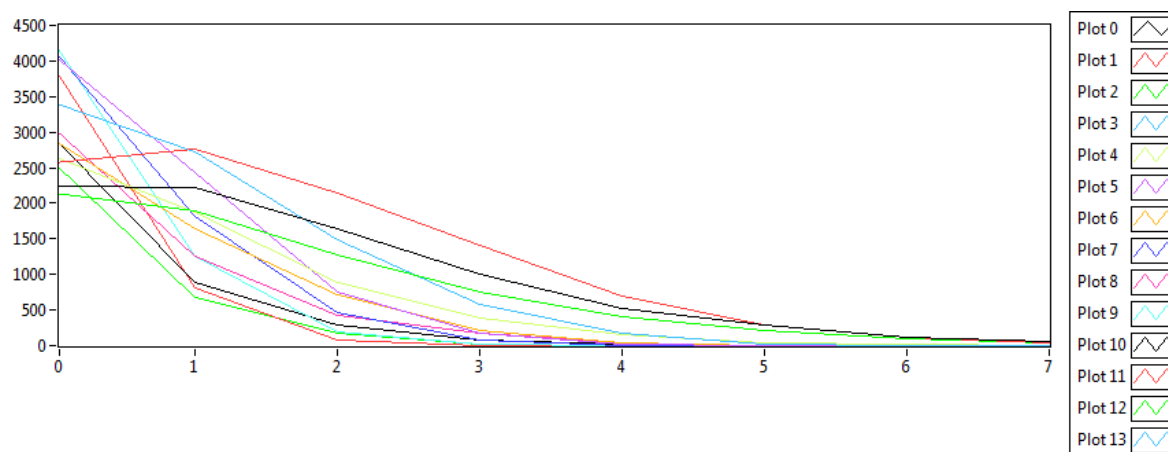
Obr.46.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



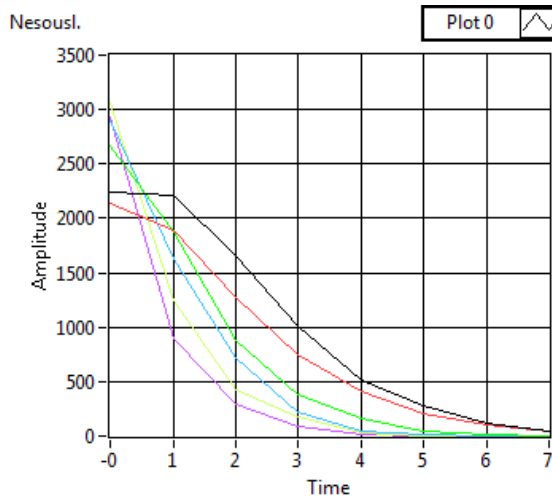
Obr.46.5 Úbytek obrobku [um]

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
46,36	48,11	2614	14,54	0,00
31,23	31,88	2607	-14,14	
17,91	24,78	2614	14,57	20,47
17,92	24,59	2614	-14,05	
8,17	10,43	2613	14,54	29,96
12,02	16,02	2608	-14,16	
2,60	6,82	2613	14,58	35,34
6,68	8,86	2614	-14,07	
0,43	0,06	2615	14,56	38,80
4,03	10,17	2610	-14,04	
-0,74	-0,17	2612	14,55	40,92
2,03	4,33	2615	-14,09	

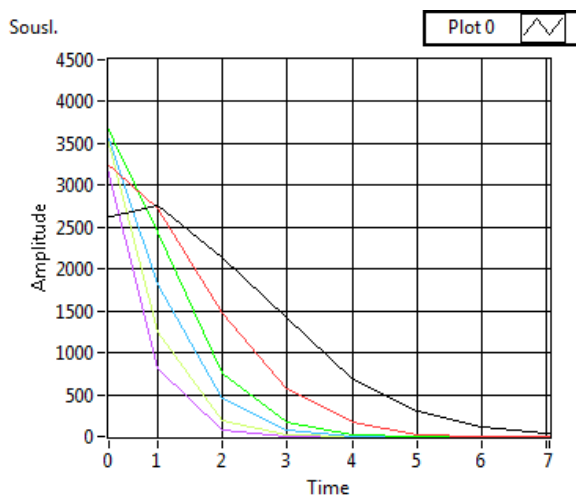
Obr.46.6 Tabulka dat



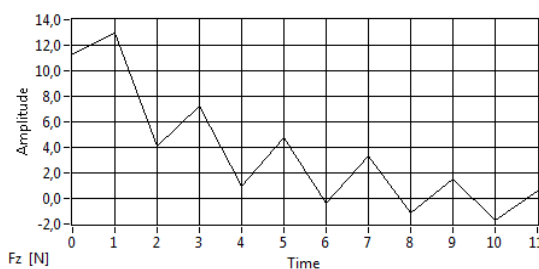
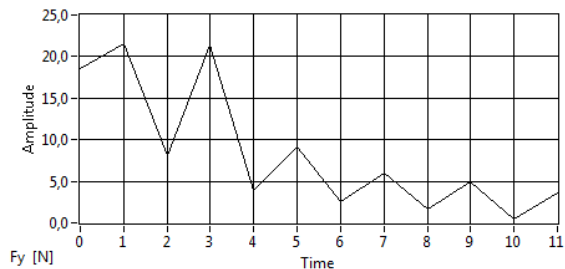
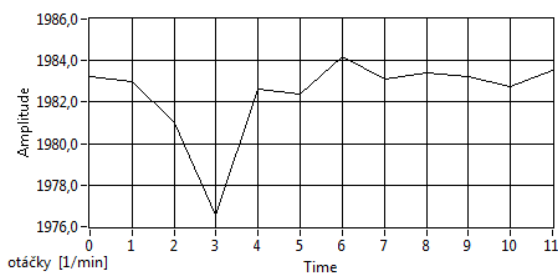
Obr.46.7 Zobrazení akustické emise



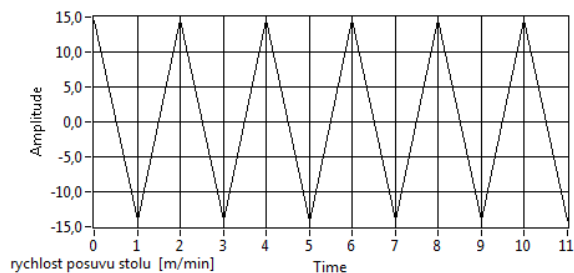
Obr.46.8 AE nesousledného pohybu



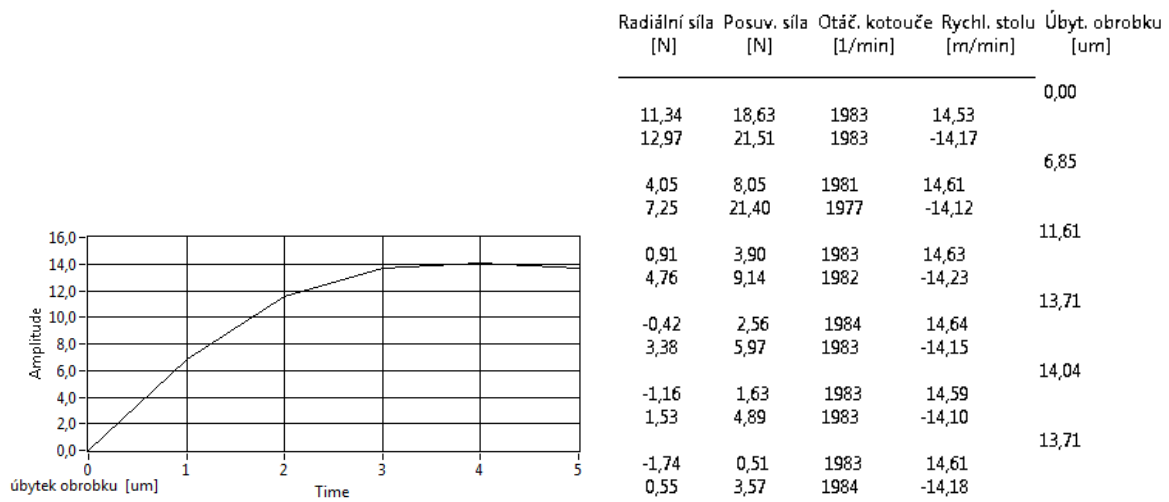
Obr.46.9 AE sousledného pohybu

Ocel 15260**Záběr 0.01 mm****Otáčky 2000 ot/min**Obr.47.1 Radiální síla F_z [N]Obr.47.2 Posunovací síla F_y [N]

Obr.47.3 Otáčky kotouče [ot/min]

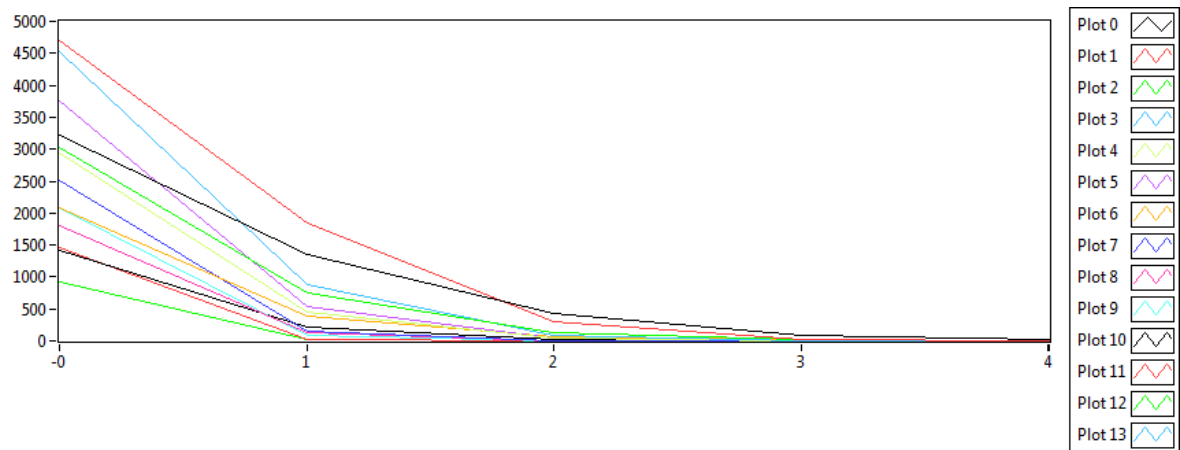


Obr.47.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]

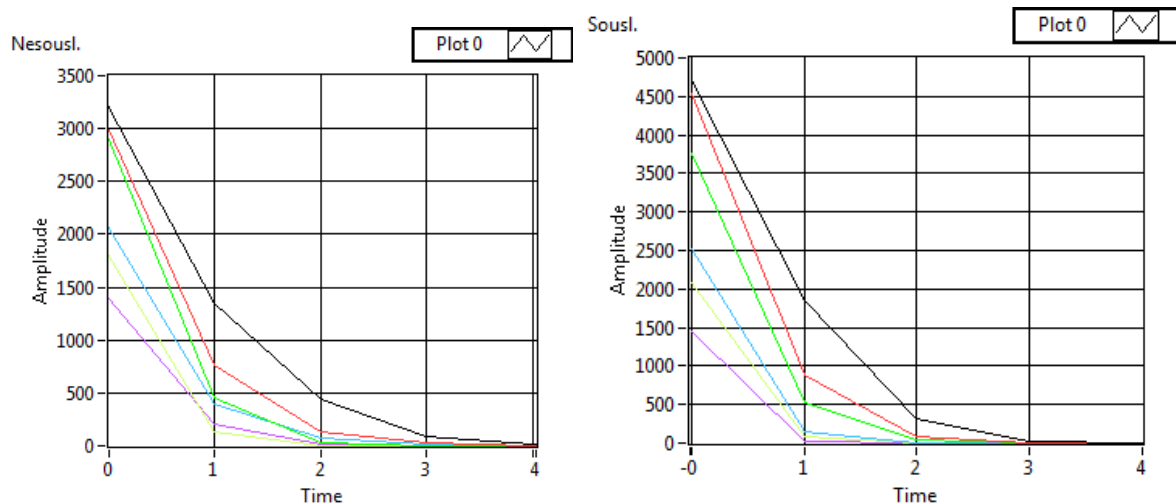


Obr.47.5 Úbytek obrobku [um]

Obr.47.6 Tabulka dat

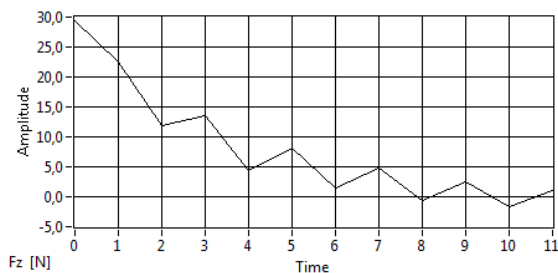
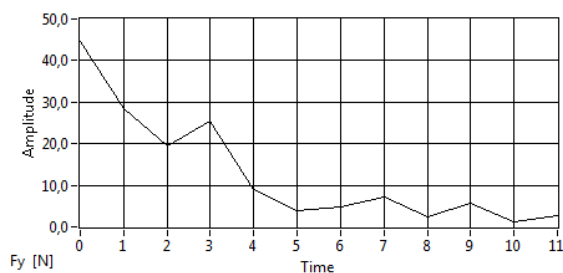
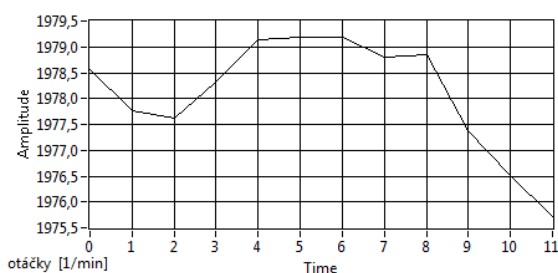
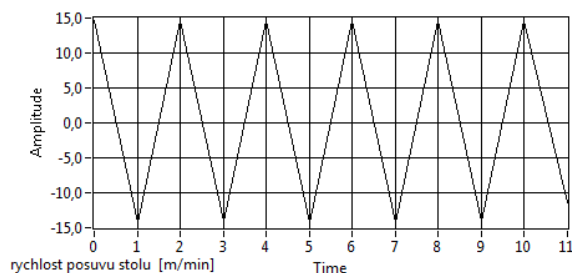
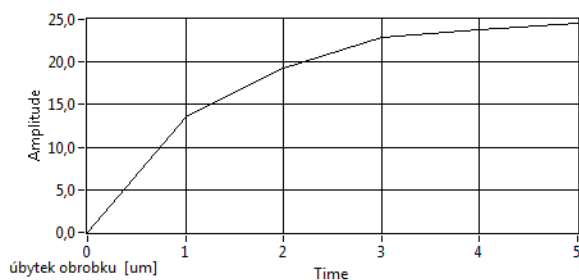


Obr.47.7 Zobrazení akustické emise



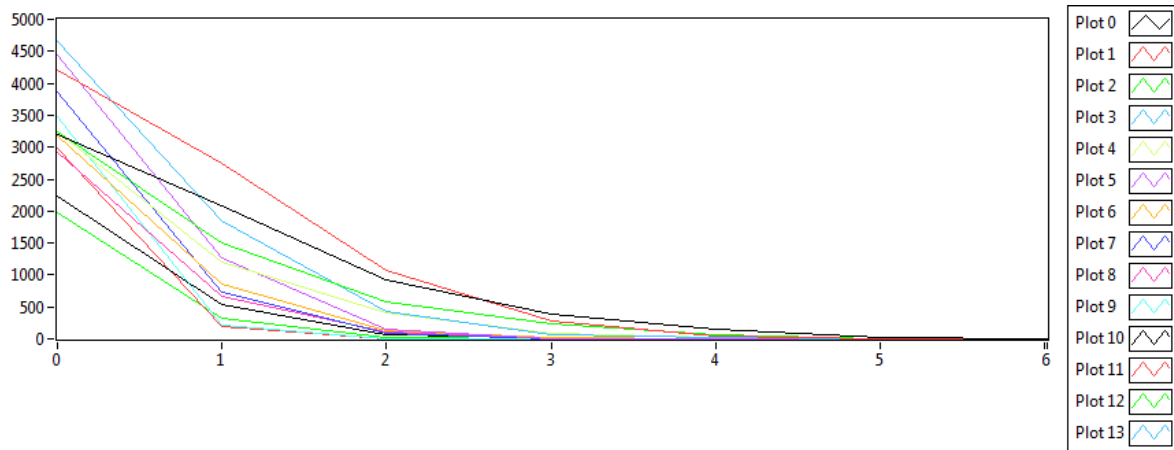
Obr.47.8 AE nesousledného pohybu

Obr.47.9 AE sousledného pohybu

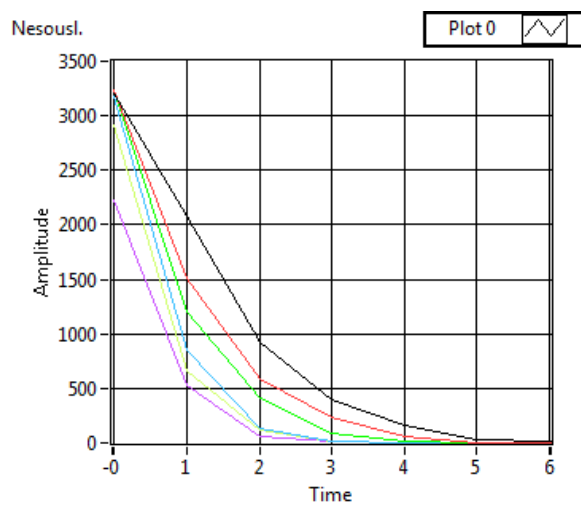
Ocel 15260**Záběr 0.02 mm****Otáčky 2000 ot/min****Obr.48.1 Radiální síla F_z [N]****Obr.48.2 Posunovací síla F_y [N]****Obr.48.3 Otáčky kotouče [ot/min]****Obr.48.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]****Obr.48.5 Úbytek obrobku [um]**

Radiální síla [N]	Posuv. síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
29,32	44,51	1979	14,65	0,00
22,57	28,56	1978	-14,23	
				13,50
11,95	19,32	1978	14,60	19,31
13,49	25,51	1978	-14,16	
				22,92
4,29	9,12	1979	14,60	23,87
8,13	3,80	1979	-14,27	
				24,47
1,38	4,73	1979	14,66	
4,75	7,07	1979	-14,22	
-0,64	2,36	1979	14,70	
2,51	5,80	1977	-14,19	
-1,70	1,16	1977	14,67	
1,01	2,65	1976	-11,37	

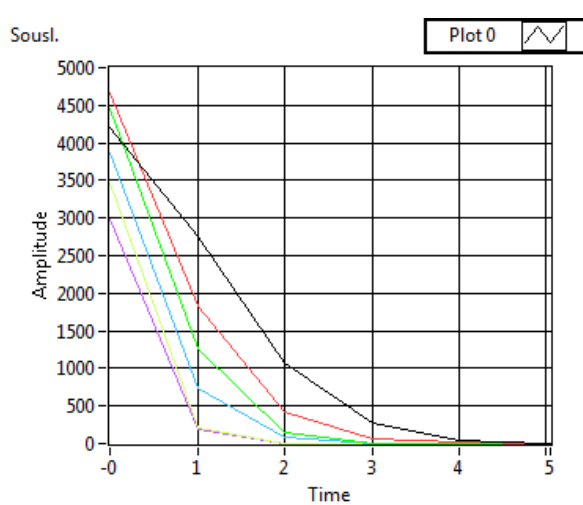
Obr.48.6 Tabulka dat



Obr.48.7 Zobrazení akustické emise



Obr.48.8 AE nesousledného pohybu

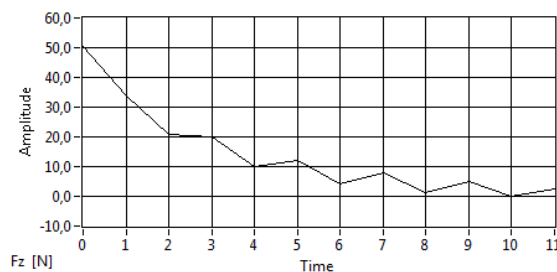
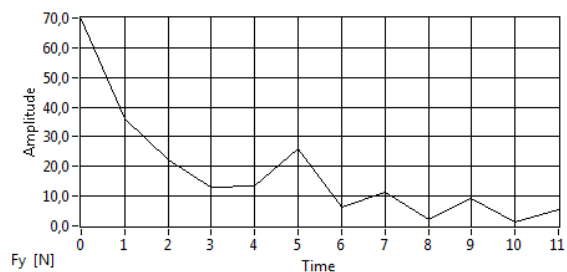


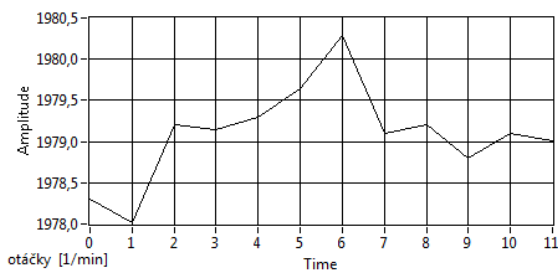
Obr.48.9 AE sousledného pohybu

Ocel 15260

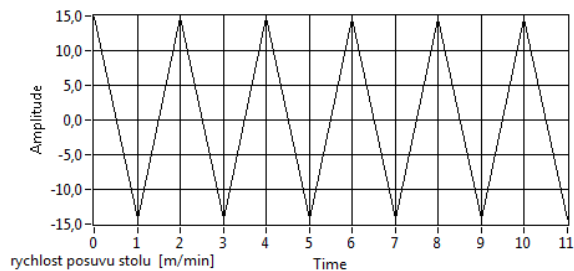
Záběr 0.03 mm

Otáčky 2000 ot/min

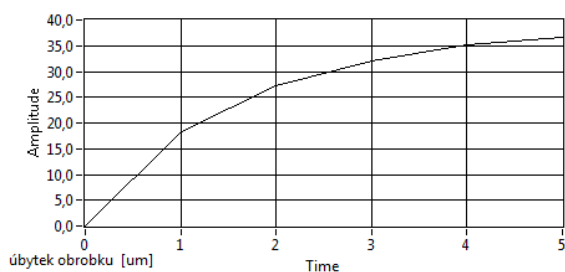
Obr.49.1 Radiální síla F_z [N]Obr.49.2 Posunovací síla F_y [N]



Obr.49.3 Otáčky kotouče [ot/min]



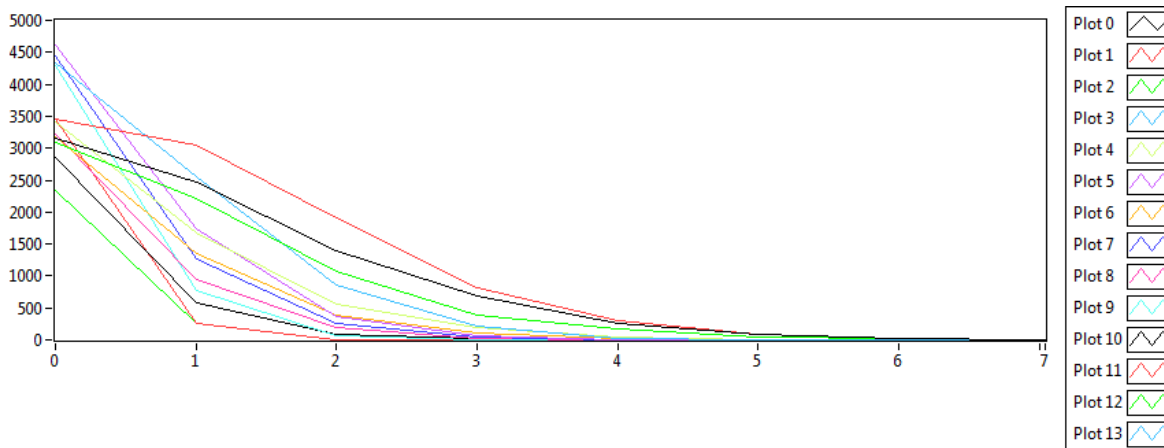
Obr.49.4 Rychlost posuvu stolu [m/min]



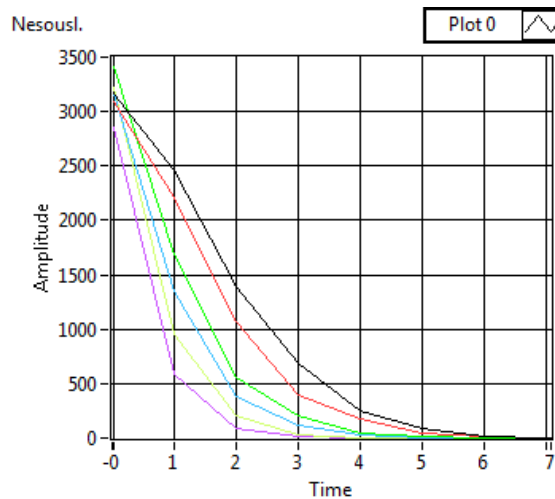
Obr.49.5 Úbytek obrobku [um]

Radiální síla [N]	Posuv, síla [N]	Otáč. kotouče [1/min]	Rychl. stolu [m/min]	Úbyt. obrobku [um]
				0,00
50,22	69,79	1978	14,76	
33,83	35,92	1978	-14,34	
				18,39
20,69	22,34	1979	14,76	
19,85	12,81	1979	-14,33	
				27,22
10,12	13,55	1979	14,87	
12,10	25,93	1980	-14,30	
				32,05
4,19	6,29	1980	14,67	
7,80	11,45	1979	-14,28	
				35,10
1,18	2,12	1979	14,69	
4,81	9,31	1979	-14,32	
				36,55
-0,04	1,41	1979	14,69	
2,53	5,50	1979	-14,33	

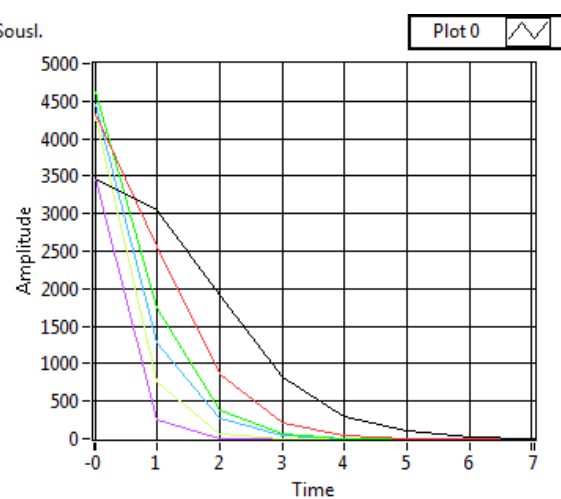
Obr.49.6 Tabulka dat



Obr.49.7 Zobrazení akustické emise



Obr.49.8 AE nesousledného pohybu



Obr.49.9 AE sousledného pohybu

Příloha D

Jako příloha je vloženo CD, které obsahuje:

- ☐ Diplomovou práci ve formátu .pdf
- ☐ Program pro měření a zpracování dat
- ☐ Vybrané výsledky měření